

Corso di Laurea in Scienze dell'Informazione

SENSOR DATA FUSION E APPLICAZIONI

Tesi di Laurea in:
Sistemi Operativi

Presentata da:
Alberto Brandimarti

Relatore:
Chiar.ma Prof.ssa Paola Salomoni

Correlatore:
Dott.ssa Catia Prandi

Sessione III
Anno Accademico 2012/2013

INDICE

INDICE.....	2
INTRODUZIONE.....	3
1 I sensori.....	7
1.1 Cosa sono.....	7
1.2 Sensori di uso comune.....	8
1.3 Sensori in ambiti specializzati.....	12
2 Le basi matematiche del Data Fusion.....	27
2.1 Probabilistica del Data Fusion.....	27
2.2 Teorema di Bayes.....	29
2.3 Filtro di Kalman.....	30
2.4 Dempster-Shafer Teoria dell'evidenza.....	31
2.5 Logica Fuzzy.....	32
3 Data Fusion aspetti implementativi.....	37
3.1 Introduzione al Data Fusion.....	37
3.2 I vantaggi di un sistema multisensoriale.....	39
3.3 Modello Processuale.....	40
3.4 Architettura a tre processi.....	42
3.5 Problemi e sfide del Data Fusion.....	45
3.6 Information-Processing Cycle (IPC).....	46
3.6.1 Data Fusion.....	48
3.6.2 Gestione delle Risorse.....	50
3.6.3 Ruolo Umano.....	51
3.7 Ruolo Umano e Data Fusion.....	52
3.7.1 Lista di priorità.....	55
3.7.2 Problemi nell'User-Refinement.....	56
3.8 Interfacce Uomo-Computer.....	59
4 APPLICAZIONI.....	61
4.1 Data Fusion e macchine utensili.....	62
4.2 Data Fusion e Smart City.....	64
4.2.1 Architettura generale Smart City.....	65
4.3 Robotica.....	67
4.3.1 Progettazione.....	68
4.3.2 Chirurgia Robotica.....	71
4.4 Meteorologia.....	72
4.5 Militari.....	75
4.5.1 SIGINT.....	78
4.5.2 COMINT e ELINT.....	79
4.6 Sistemi di riconoscimento biometrici.....	81
CONCLUSIONI.....	86
BIBLIOGRAFIA.....	87

INTRODUZIONE

L'evoluzione tecnologica sempre più rapida, l'approfondimento delle tecniche di sviluppo informatico e dei linguaggi espandono, giornalmente, la nostra concezione di "macchina intelligente". Tale macchina per poter svolgere il proprio ruolo in maniera adeguata, ripetitiva e precisa sfrutta una rete di trasduttori definiti sensori.

Questi strumenti si trovano in diretta interazione con il sistema misurato e forniscono una serie di segnali di natura estremamente varia, i quali dovranno venire analizzati da un sistema informatico in modo tale da ottenere risultati omogenei ed utilizzabili; tale processo prende il nome di "*Data Fusion*".

Attualmente di questi sensori ne esistono diversi tipi: l'esempio più comune sono le telecamere, *magnetici*, a infrarossi, sensori di acquisizione di onde sonore (microfoni), accelerometri, giroscopi (questi ultimi due sono presenti in device intelligenti come i cellulari), Global Positioning System (GPS), ad arrivare a sensori più utilizzo più specialistico come il Radar.

Cercare di sintetizzare il significato di "*Data Fusion*" risulta estremamente complesso in quanto, con un semplice termine, si includono competenze e strumenti provenienti da vari campi quali l'analisi statistica, la teoria dei controlli e dell'apprendimento automatico.

Il "*Data Fusion*" guadagna significato in applicazioni dove viene combinato un largo numero di dati e informazioni, fusi e selezionati per ottenere un' appropriata qualità e integrità delle informazioni che verranno utilizzate per attuare decisioni.

I primi anni in cui si iniziò a teorizzare il "*Data Fusion*" furono gli anni '60 al tempo della guerra fredda e delle prime missioni Apollo; nacquero a quel tempo i teoremi (della Probabilità e di Bayes), gli algoritmi statistici (Filtro di Kalman) e le teorie (Teoria dell'evidenza di Dempster-Shafer) da cui ebbe origine l'attuale concezione di fusione di dati ed informazioni acquisite da sistemi di rilevamento.

L'evoluzione di tali teorie fù inizialmente dedicata al campo militare settore in cui venne sviluppato particolarmente il ramo di gestione della raccolta di intelligence

Introduzione

che diede origine a diverse sotto sezioni di recupero ed analisi dei dati, quella dedicata allo sviluppo tecnologico di acquisizione venne nominata SIGINT (*signal intelligence*) e la raccolta dati tramite sensori prese il nome di ELINT (*Electronic signals intelligence*). Nelle ELINT la metodologia di lavoro classica prevede che i segnali vengano identificati e catalogati, confrontando i parametri raccolti con librerie di dati noti. Se si individuano parametri differenti da quelli archiviati, l'emittente viene classificata come nuova. Le informazioni ELINT sono solitamente ad alto livello di segretezza e vengono trattate come tali motivo per cui un sofisticato sistema di analisi ed elaborazione tramite “*Data Fusion*” permetterà ai pianificatori militari potranno definire strategie mirate al raggiungimento dell’obiettivo minimizzando i rischi insiti nell’operazione.

Attualmente i campi di utilizzo spaziano dagli smartphone ai sistemi robotizzati industriali, dalle scansioni biometriche per il riconoscimento delle caratteristiche morfologiche dell’individuo ai sofisticati sistemi chirurgici (DaVinci).

Nel contesto della tesi si svilupperà il concetto di *Data Fusion* e sensori quali elementi fondamentali integrati in sistemi di monitoraggio e controllo per l’acquisizione di grandi volumi di dati al fine della creazione di piattaforme per la gestione di architetture predittive atte ad ottimizzare le risorse ed a valutare lo stato di salute dei sistemi.

Tali architetture predittive vengono integrate nei grandi sistemi robotizzati industriali al fine di ottimizzare le linee di produzione, ottenere risparmi di scala e giungere alla predizione sugli interventi di manutenzione programmata con lo scopo di evitare di incorrere nel fermo macchina. Questo, evento è infatti estremamente dispendioso in termini di denaro e tempo oltre agli aumentati pericoli per gli operatori che devono intervenire in stato di emergenza.

Oltre ai sistemi industriali si utilizzano i processi di “*Data Fusion*” nel campo della indagine biometrica utilizzati nei sistemi di sicurezza aeroportuali e di supporto alle forze dell’Ordine mediante riconoscimento delle caratteristiche morfologiche quali tratti del viso ed impronte digitali.

In aggiunta ai sistemi automatici di predizione e decisione si citerà l’ambito di intervento umano nel caso di analisi relative ad ambiti complessi quali business-trans continentale e di difesa nazionale oltre che in ambito politico.

La tesi è così suddivisa:

1. Nel primo capitolo viene introdotto il concetto di sensore quale elemento fondamentale del sistema di acquisizione dati illustrandone i vari tipi con le relative caratteristiche sia di uso comune (device intelligenti quali smartphone, tablet e personal computer) che in ambiti specialistici (meteorologia, robotica industriale).
2. Nel secondo capitolo si tratteranno le basi matematiche che supportano il processo di “*Data Fusion*”, la teoria probabilistica, il teorema di Bayes, il filtro di Kalman, la teoria dell’evidenza di Dempster-Shafter e la logica Fuzzy.
3. Nel terzo capitolo viene definito l’aspetto implementativo del “*Data Fusion*”: il vantaggio dell’utilizzo di multisensori, i modelli processuali ideati per sviluppare una struttura standardizzata riconosciuta a livello internazionale. Si illustreranno i problemi relativi allo sviluppo del “*Data Fusion*” e si argomenterà sul ciclo di elaborazione delle informazioni e l’interazione, attraverso interfacce semplificate, tra sistema informatizzato e suoi utilizzatori.
4. Nel quarto capitolo si tratterà delle applicazioni ed implementazioni del “*Data Fusion*” all’interno dei sistemi produttivi industriali, nel controllo delle macchine utensili (rilevazione dati da sensori presenti in apparecchiature situate localmente), nel progetto intolato “Smart City” (rilevazione dati da sensori situati in posizioni remote e distribuite su vasta scala) e nella robotica, termine che sintetizza gli ambiti tecnologicamente più avanzati fino a giungere al sistema chirurgico DaVinci. Si illustreranno le applicazioni nel campo della meteorologia, dello spionaggio di segnali elettromagnetici (SIGINT) e dei sistemi di riconoscimento biometrico.

1 I sensori

Nella pratica quotidiana così come in ambienti professionali, nei laboratori universitari o in campo militare si ha la necessità di tenere sotto controllo le variazioni che si verificano nello stato di un ambiente, di un materiale o, comunque, di quei parametri che ci permettono di valutare quali possano essere le conseguenze di una determinata azione.

La rilevazione della variazione di tali parametri è possibile tramite l'utilizzo di specifiche apparecchiature: i sensori.

1.1 Cosa sono

Un sensore è un trasduttore che si trova in diretta interazione con il sistema misurato ed è, in ambito strettamente metrologico, riferito solamente al componente che fisicamente effettua la trasformazione della grandezza in ingresso in un segnale di altra natura.

In informatica un sensore acquisisce dati che verranno trasformati in informazioni che il calcolatore utilizzerà a seconda dell'utilizzo di cui l'utente necessiterà.

Al giorno d'oggi i sensori si trovano in diversi campi di applicazione sia civile che militare.

I sensori sono generalmente di tre tipologie e possono:

- dare una lettura direttamente nell'unità ingegneristica d'interesse (esempio nei termometri a mercurio);
- essere collegati ad uno strumento indicatore (chiamato comunemente display) che provvede a leggere il segnale e tradurlo in una comoda

lettura nell'unità ingegneristica. Essendo la maggior parte delle volte un segnale in tensione, il visualizzatore è spesso un qualche tipo di voltmetro opportunamente calibrato o settato allo scopo;

- essere collegati ad uno strumento registratore che provvede a memorizzare il segnale per una sua successiva elaborazione. Il più delle volte, quest'ultimo opera una conversione analogico-digitale che traduce il segnale in dati digitali, che vengono immediatamente memorizzati nello strumento stesso o su un computer collegato in remoto.

Quest'ultima possibilità di utilizzo del sensore sarà quella che si descriverà più in dettaglio.[CS]

1.2 Sensori di uso comune

Nella nostra vita abbiamo sempre a che fare con dei sensori.

Per esempio in uno smartphone sono presenti circa nove sensori e, a seconda del sistema operativo installato, del modello o della marca si possono determinare quali, quanti e che tipo di sensori siano installati.

Qui di seguito si presenterà una lista di sensori di uso comune con relativa spiegazione del funzionamento e qualche esempio di applicazione pratica.

Accelerometro : si basa sulla rilevazione dell'inerzia di una massa quando venga sottoposta ad un'accelerazione. Nei cellulari vengono generalmente utilizzati come inclinometri, ovvero per rilevare l'orientamento / inclinazione dello schermo o per attivare altre funzioni in applicazioni che richiedano la rilevazione del posizionamento nello spazio.

Vengono anche utilizzati nella rilevazione dell'accelerazione laterale dei veicoli, allo scopo di controllare le sbandate azionando opportunamente il sistema di frenatura,

oppure per attivare il sistema di ritenzione / bloccaggio delle cinture di sicurezza e il gonfiaggio dell'AirBag nel caso venga superato un determinato valore soglia di decelerazione.

Sensore di luce Ambientale : è un sensore che misura l'intensità della luce ambientale; per esempio nei cellulari viene principalmente utilizzato per adattare, in maniera automatica, la luminosità dello schermo per permettere una migliore visualizzazione e per risparmiare batteria.

Può essere anche utilizzato per regolare automaticamente la luminosità di fari o luci per ottimizzare i consumi energetici come, per esempio, l'illuminazione pubblica.

Sensore di prossimità : sono dei sensori in grado di rilevare la presenza di oggetti nelle immediate vicinanze del “lato sensibile” del sensore stesso, senza che vi sia un effettivo contatto fisico; questo sensore, non utilizzando un contatto fisico tra rilevatore ed oggetto, dispone di un'affidabilità elevata.

Potendo avere a disposizione una vasta gamma di sensori con caratteristiche estremamente variabili ed ampie, è possibile utilizzarli in diversi contesti come: controlli di processo, robot industriali, macchine utensili, strumenti di misura, linee di montaggio, etc.

L'esempio di utilizzo tra i più comuni è nei telefoni cellulari, specificamente negli smartphone dotati di touchscreen.

Durante una chiamata il sensore rileva l'avvicinamento del volto/testa al visore disattivandolo, evitando così che si tocchino, involontariamente, tasti virtuali o che, per sbaglio, si chiuda la chiamata, riattivando, successivamente, il touchscreen una volta che il volto/testa dell'utente sia distante.

Altro esempio di comune utilizzo è quello che comanda l'apertura delle porte automatiche.

Sensore di Temperatura : di questo sensore ci sono vari tipi, ogni tipo ha il suo ambito di utilizzo, i più comuni sono i termometri, i quali misurano, come si può intuire dal nome, il grado della temperatura di un oggetto o dell'ambiente a seconda della scala di misura che si vuole utilizzare.

Capitolo 1 I sensori

Rimanendo nel campo dei telefoni cellulari esiste il controllo di temperatura raggiunta durante il periodo di ricarica della batteria onde evitare, in particolare nelle unità ai polimeri di litio, pericolose esplosioni.

Gyroscopio : è un sensore che misura il grado di rotazione dell'apparecchio su cui è installato.

In un dispositivo elettronico come il cellulare/smartphone il giroscopio è un sensore utile a rilevare i movimento lungo i tre assi tridimensionali, X, Y e Z.

Per esempio viene utilizzato, insieme all'accelerometro, per capire in maniera più precisa e dettagliata, rispetto al passato, a quali movimenti sia sottoposto il device intelligente (smartphone e tablet) per migliorare l'esperienza d'uso implementando nuovi tipi di funzioni e comandi di movimento.

I nuovi sistemi operativi sfruttano sempre più questi sensori per implementare nuovi tipi di comandi.

Ad esempio in alcuni Samsung Galaxy è possibile disattivare la suoneria capovolgendo il medesimo all'interno di una tasca.

Esistono delle applicazioni aggiuntive che riescono, addirittura, a capire se ci si trova in automobile, se si sta camminando o se si è in bicicletta personalizzando, in maniera automatica, il cellulare/smartphone a seconda del tipo di attività che si svolge.

Sensore del suono : ci sono molti tipi di questo sensore, i più comuni sono i microfoni.

Tali sensori sono trasduttori di tipo elettro-meccanico in grado di convertire le onde di pressione sonora in segnali elettrici; nei telefoni trasformano la nostra voce in informazioni digitali che vengono inviate attraverso la rete cellulare e vengono ritrasformate dall'altoparlante del cellulare destinatario in suoni che verranno percepiti dall'utente come il discorso che si sta intraprendendo.

Magnetometro : misura il campo magnetico.

Ne esistono una grandissima varietà; vengono suddivisi in 2 categorie:

- Magnetometri scalari: misurano il modulo del campo magnetico,
- Magnetometri vettoriali: misurano la componente del campo magnetico

lungo una particolare direzione dello spazio,

La misura delle componenti del campo lungo tre direzioni permette di definire unicamente il vettore campo magnetico nel punto in cui si effettua la misurazione.

Per fare un esempio comune nei cellulari il magnetometro viene utilizzato come una sorta di bussola, ed anche per gestire la propria direzione su mappe o nei navigatori satellitari.

Barometro : misura la pressione atmosferica, nei cellulari/smartphone il suo utilizzo è molto recente e non tutti i cellulari/smartphone l'hanno installato, ma in quelli di ultima generazione viene utilizzato per aumentare la precisione dei navigatori satellitari.

Una evoluzione del barometro viene utilizzata nelle bilance; il sensore di misurazione viene definito cella di carico che consiste in una piccola camera in cui viene creato il vuoto.

In funzione della deformazione prodotta dalla pressione, la cella produce un segnale elettrico che può essere elaborato da un microprocessore o da un voltmetro.

Gesture Sensor : questo sensore rileva ed interpreta i gesti umani, questi possono essere generati da qualsiasi posizione o movimento del corpo ma, comunemente, provengono dal volto o dalla mano.

Riconoscere le emozioni attraverso l'analisi del volto e dai gesti delle mani attraverso telecamere e algoritmi di visione artificiale per interpretare il linguaggio dei segni.

Il riconoscimento dei gesti può essere visto come un mezzo utilizzato dai computer per cominciare a capire il linguaggio del corpo umano creando un “collegamento” più forte tra le macchine e gli esseri umani rispetto alle primitive interfacce utente testuali o anche alle GUI (graphical user interface), che limitano ancora la maggior parte degli input a tastiera e mouse.

Un esempio di utilizzo pratico nei cellulari/smartphone è quello che rende possibile il controllo delle chiamate e, conseguente risposta, semplicemente agitando la mano davanti allo schermo, molto utile durante la guida di automezzi.

Gestire i lettori multimediali con il semplice movimento della mano, come anche

sfogliare pagine web o consultare libri digitali, risulta utile quando non si abbia la possibilità di toccare direttamente il dispositivo, un motivo potrebbe essere il caso in cui si abbiano le mani bagnate o sporche oppure si abbiano i guanti i quali non permettono il corretto funzionamento dei touchscreen.[CS]

1.3 Sensori in ambiti specializzati

Qui si parlerà dei sensori che si utilizzano in ambiti più specializzati, soprattutto quando si parla di salute e sicurezza i sensori ricoprono un ruolo molto importante.

Qui di seguito sarà presente un elenco in base al principio di funzionamento di vari sensori.

Sensore ottico è un dispositivo che converte un'immagine ottica in un segnale elettrico, questi componenti vengono utilizzati soprattutto nelle fotocamere digitali, nelle telecamere, nelle videocamere e in altri dispositivi che trattano elettronicamente immagini.

Ne esistono molti tipi, la prima suddivisione è tra coloro che riprendono a colori e quelli che riprendono in bianco e nero (questi ultimi sono presenti solo in campi ristretti di utilizzo come telecamere a visione notturna), altre suddivisioni vengono determinate in base a caratteristiche quali metodo di acquisizione dei colori, tecnologia, sensibilità alla luce, risoluzione, ecc.

Esempi di sensori ottici sono fotocellule, fotodiodi e fotomoltiplicatori.

Le fotocellule o fotorilevatori sono dispositivi in grado di rilevare la radiazione elettromagnetica, fornendo in uscita un segnale avente un'intensità di corrente o una differenza di potenziale proporzionale all'intensità della radiazione rilevata.

Ne esistono diversi tipi, realizzati in base a diversi effetti di interazione tra la radiazione e la materia.

In particolare possono differire per la porzione di spettro elettromagnetico che sono in grado di rilevare e per l'intensità minima che riescono a misurare (alcuni sono in grado di rilevare i singoli fotoni).

Le applicazioni di questi dispositivi sono molteplici e vanno dai dispositivi

Capitolo 1 I sensori

d'allarme agli automatismi per cancelli o porte, inoltre i cronometri di molte discipline sportive sono collegati a fotocellule.

Sono, inoltre, utilizzati in ogni campo in cui sia necessario misurare l'intensità luminosa, ad esempio nella spettroscopia o nella fotometria e nella fotografia.

Un altro sensore ottico è il fotodiodo il quale è un particolare tipo di diodo fotorilevatore che sfrutta l'effetto fotovoltaico è in grado, cioè, di riconoscere una determinata lunghezza d'onda dell'onda elettromagnetica incidente (assorbimento del fotone) e di trasformare questo evento in un segnale elettrico di corrente applicando ai suoi estremi un opportuno potenziale elettrico.

Il fotodiodo ha innumerevoli impieghi, il più diffuso è quello nel campo delle fibre ottiche ovvero nelle comunicazioni ottiche dove viene utilizzato per il riconoscimento del segnale contenente l'informazione ovvero come dispositivo di ricezione nel campo della misurazione di precisione e nel campo della fotografia digitale.

Un utilizzo particolare è quello che si può trovare negli isolatori ottici.

Nel campo biomedico, si utilizzano fotodiodi nella sperimentazione della visione artificiale; il progetto MARC è un esempio di questo utilizzo, attraverso protesi particolari chiamate appunto protesi MARC (Multiple-unit Artificial Retina Chipset), che sono un tipo di impianto epiretinale (strato più interno della retina), si tenta di restituire la vista agli individui che l'avevano persa causa la degenerazione delle cellule fotorecetttrici della retina.[JD]

Il fotomoltiplicatore è un rilevatore elettronico di luce estremamente sensibile nell'ultravioletto, in luce visibile e nel vicino infrarosso, il dispositivo è talmente sensibile da poter rilevare un singolo fotone.

Il funzionamento del fotomoltiplicatore si basa principalmente su due effetti: l'effetto fotoelettrico e l'emissione secondaria (cioè l'elettromoltiplicazione).

L'amplificazione del dispositivo arriva a 10^8 , il che significa che un impulso misurabile è prodotto dai singoli fotoni; l'alto guadagno, il basso rumore intrinseco, l'estrema prontezza, l'elevata risposta in frequenza e l'ampia superficie sensibile fanno sì che questo dispositivo sia largamente usato in fisica delle particelle associato a scintillatori, in astronomia (dove, grazie alla loro rapidità di risposta sono utilizzati ad esempio per le occultazioni) e in medicina nella diagnostica delle immagini.[IET]

Sensori Acustici tra questi ci sono i comuni microfoni e gli idrofoni.

I microfoni li possiamo vedere anche nell'uso comune di tutti i giorni ma vengono usati anche in ambiti specialistici come, per esempio, nelle intercettazioni telefoniche ed anche in altri ambiti molto più specializzati come in medicina con l'utilizzo delle onde d'urto, o Extracorporeal Shock Wave Therapy (ESWT), che ha dimostrato la sua efficacia soprattutto in ambito osteoarticolare e muscolo-tendineo.

Si è visto, in particolare, che le onde d'urto inducano la ripresa dell'osteogenesi e favoriscano così il processo riparativo nelle fratture non consolidate inoltre, grazie a queste onde d'urto, si possono curare le formazioni calcaree nei reni frantumandole in pezzi così piccoli che poi verranno espulsi naturalmente attraverso l'uretere senza bisogno di anestesia e senza intervento chirurgico per migliorare la vita di chi soffre di questi problemi senza bisogno di metodi invasivi.

Gli Idrofoni non sono altro che microfoni ideati per lavori subacquei o altri fluidi.

In mare sono utilizzati per rilevare segnali prodotti da Cetacei e altre forme di vita, da navi, da operazioni di prospezione, o esplorazione geologica, da sonar o da attività sulla costa.

Nei sistemi di rilevazioni di perdite di fluidi vengono utilizzati per identificare rotture nelle condutture così da poter intervenire in maniera mirata senza aggravio di costi con ricerche a tutto campo.

In campo industriale gli idrofoni vengono utilizzati per rilevare e misurare le vibrazioni presenti all'interno di vasche, condutture o pompe tali vibrazioni possono essere prodotte da turbolenze o da un funzionamento imperfetto.

I segnali vengono utilizzati come indice per valutare lo stato di salute degli impianti e aumentarne la vita attraverso azioni di manutenzione preventiva.

Nel campo dello studio e della tutela dell'ambiente, gli idrofoni vengono utilizzati anche per valutare la quantità di rumore (e a volte anche di fluidi) che le attività dell'uomo scaricano in mare, nei fiumi o nei laghi.

Questo rumore può avere effetti nocivi non solo sui mammiferi marini, ma anche su altre forme di vita.[AL]

Sensori di Accelerazione il più comune è l'accelerometro che, come detto precedentemente, si trova anche nei device intelligenti, ma che in altri ambiti viene

sfruttato con un livello di sofisticazione decisamente più elevato.

Ci sono vari tipologie di accelerometri:

Accelerometro a ponte estensimetrico sfrutta come principio di rilevazione lo stesso delle celle di carico, cioè la variazione di resistenza di un estensimetro dovuta alla variazione della sua lunghezza.

In questi dispositivi una massa viene sospesa su dei sottili lamierini, su quest'ultimi sono fissati degli estensimetri collegati a ponte di Wheatstone.

In presenza di un'accelerazione la massa si sposta, flettendo i lamierini e conseguentemente gli estensimetri subiscono un allungamento, con un voltmetro è possibile leggere una tensione di sbilanciamento del ponte di Wheatstone proporzionale all'accelerazione

Accelerometro a ponte piezoresistivo è una variante dell'accelerometro a ponte estensimetrico, dove al posto degli estensimetri sono utilizzati sensori piezoresistivi. Questi sensori si comportano in modo analogo agli estensimetri, ma permettono allungamenti e sensibilità superiori, pur avendo qualche problema di stabilità con la variazione di temperatura.

Spesso, in questi strumenti, la massa viene sospesa su una membrana plastica sulla quale sono stati attaccati gli elementi piezoresistivi.

Accelerometro LVDT sfrutta, come principio per la rilevazione dello spostamento della massa, un sensore LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) integrato nella struttura dell'accelerometro stesso.

In questi dispositivi, la massa stessa costituisce il nucleo ferromagnetico del sensore LVDT, e scorre (sospesa su molle o altri elementi elastici) all'interno di un canale attorno al quale sono avvolte le bobine destinate alla rilevazione della posizione della massa.

Un apposito circuito rileva la posizione del nucleo rispetto alle bobine e genera un segnale elettrico proporzionale allo spostamento rispetto alla posizione di riposo.

Accelerometro capacitivo sfrutta, come principio per la rilevazione dello

Capitolo 1 I sensori

spostamento della massa, la variazione della capacità elettrica di un condensatore al variare della distanza tra le sue armature.

In questi accelerometri, la massa (realizzata con materiale conduttivo) costituisce un'armatura, mentre l'altra è realizzata sulla struttura fissa del dispositivo, nell'immediata prossimità della massa.

La massa viene sospesa su un elemento elastico relativamente rigido (tipicamente una membrana).

Un apposito circuito rileva la capacità del condensatore così realizzato e genera un segnale elettrico proporzionale alla posizione della massa.

Accelerometro piezoelettrico sfrutta, come principio per la rilevazione dello spostamento della massa, il segnale elettrico generato da un cristallo piezoelettrico quando è sottoposto ad una compressione.

In questi accelerometri la massa viene sospesa sul cristallo piezoelettrico, che, in questo caso, costituisce sia il sensore, che l'elemento elastico. In presenza di un'accelerazione la massa (che presenta una certa inerzia) comprime il cristallo, il quale genera un segnale elettrico proporzionale alla compressione.

Visto che l'elemento elastico è un cristallo, le caratteristiche di questi dispositivi sono peculiari:

- presentano una sensibilità relativamente bassa;
- possono rilevare enormi accelerazioni senza danneggiarsi (anche 1000 g);
- non possono rilevare accelerazioni costanti nel tempo.

Una considerazione di particolare rilievo sta nel fatto che i cristalli generalmente impiegati nella costruzione dell'elemento elastico hanno un elevatissimo valore della costante elastica, il che ha una profonda influenza sull'equazione differenziale che governa il fenomeno vibratorio che coinvolge il sistema dello strumento.

L'ultima caratteristica è da rimarcare: come detto, il cristallo genera un segnale elettrico proporzionale alla compressione, ma se la compressione sul cristallo permane, il segnale generato tende a dissiparsi dopo un breve periodo. In conseguenza di questo fenomeno, detto *leakage*, questi accelerometri non sono in grado di rilevare un'accelerazione quasi statica: dopo qualche secondo dall'applicazione di una tale accelerazione, il segnale prima si "congela" e poi si dissipa, e in uscita non sarà presente

alcun segnale. Ciò è dovuto all'elevata resistenza dell'accelerometro o, eventualmente, anche ad una errata impostazione della frequenza limite inferiore sul preamplificatore. Questi accelerometri trovano impiego in applicazioni dove si deve rilevare accelerazioni dinamiche come quelle che si generano nelle vibrazioni e negli shock meccanici.

Accelerometro laser è un tipo particolare di accelerometro, usato quando è necessario effettuare misure estremamente precise, non ottenibili con altri tipi di strumenti.

Il principio di funzionamento è concettualmente differente rispetto a quelli sopra esposti, e si basa sul principio fisico che l'accelerazione è una derivata della velocità nel tempo, in questo dispositivo un interferometro laser misura istante per istante lo spostamento dell'oggetto in moto, un computer ad esso collegato effettua la derivata seconda rispetto al tempo, ottenendo così direttamente il valore d'accelerazione.

I problemi di questi dispositivi è che sono costosi, piuttosto ingombranti, richiedono che l'interferometro sia montato a terra (o su un luogo da considerarsi fisso) ed il laser deve essere costantemente puntato verso l'oggetto in moto.[WKA]

Gravitometro è un tipo particolare d'accelerometro realizzato appositamente per misurare l'accelerazione di gravità. Secondo il principio d'equivalenza della relatività generale, gli effetti della gravità e dell'accelerazione sono gli stessi, perciò un accelerometro non può fare distinzione tra le due cause.

Come gravimetri si possono usare delle versioni migliorate di accelerometri per misure statiche, in cui sono state particolarmente curate le caratteristiche di sensibilità, di precisione e di stabilità infatti, in questa applicazione, necessita la rilevazione di variazioni d'accelerazione estremamente ridotte.

Dove, a fini scientifici, è necessario effettuare misure estremamente precise, si ricorre ad uno strumento che lavora con lo stesso principio dell'accelerometro laser: in questo caso, si rileva l'accelerazione della caduta di un grave in una camera sottovuoto, usando un interferometro laser per misurare lo spostamento, e un orologio atomico per misurare il tempo di caduta.

Capitolo 1 I sensori

La rilevazione dell'accelerazione gravitazionale, oltre ad avere interesse in campo scientifico (specie in fisica e in geologia), è una pratica dell'industria estrattiva (specie per la ricerca di giacimenti petroliferi).

Altro campo di utilizzo dell'accelerometro è la misurazione dell'accelerazione dei veicoli, per valutarne le performance, al fine di poterne modificare i vari sottosistemi dove necessario, contemporaneamente si misurano le vibrazioni di tali veicoli ma si possono misurare anche quelle di macchinari, costruzioni, sistemi di controllo e installazioni di sicurezza.

Può essere usato per misurare le attività sismiche, distanze e velocità dinamiche con o senza l'influenza data dalla forza di gravità.

Nell'industria l'accelerometro è utilizzato per monitorare lo stato dei macchinari, segnala le vibrazioni e le loro variazioni nel tempo di alberi su cuscinetti di macchine rotati quali turbine, pompe, ventilatori, rulli, compressori, e torri di raffreddamento.

Gli accelerometri sono usati per monitorare le vibrazioni che emettono strutture, come le costruzioni edili quando si svolgono controlli alle strutture anti-sismiche mentre nei ponti vengono controllati il livello di flessione e deformazione quando, ad esempio, risultino soggetti alla pressione generata dal vento.

In ambito medico l'accelerometro misura la profondità di compressione del petto per misurare lo stato fisico, mentre in ambito sportivo lo si utilizza per monitorare l'allenamento degli atleti.

In campo industriale l'accelerometro viene utilizzato per controllare la qualità dei caschi sia sportivi che di uso professionale individuando il limite di rottura da impatto.

In Ambito dei trasporti l'accelerometro viene installato nei veicoli per rilevare la brusca decelerazione così da attivare gli airbag in casi di incidenti o urti.

L'accelerometro viene usato anche nella vulcanologia per monitorare l'attività magmatica di vulcani.

Nelle telecamere professionali viene installato un accelerometro per stabilizzare l'immagine eliminando l'effetto “blur”, quindi poter catturare anche immagini in movimento senza sfocature o imperfezioni.

Molti laptop hanno installato un accelerometro usato per rilevare se

l'apparecchio stia cadendo, in quel caso invia istruzioni agli hard disk di spostare le testine di lettura e scrittura in una posizione sicura in modo tale da evitare perdite di dati.

Sensori elettrici questi sensori misurano tutti gli aspetti riguardanti la corrente elettrica di impianti elettronici, ce ne sono di diversi tipi e misurano grandezze diverse:

- Sensori di resistenza elettrica, un esempio è l'ohmetro creato dal fisico tedesco Georg Simon Ohm.

La resistenza elettrica è molto importante in ambito elettronico in quanto è la grandezza fisica che misura la tendenza di un corpo ad opporsi al passaggio di una corrente elettrica, quando sottoposto ad una tensione elettrica.

Attraverso ciò si sono scoperti determinati materiali chiamati superconduttori i quali hanno resistenza elettrica nulla con i quali vengono costruiti, i treni a levitazione, i motori dewar a levitazione ed apparecchiature elettromedicali.

- Sensori di corrente elettrica, degli esempi sono i galvanometri e gli amperometri. Il galvanometro è anche un componente degli amperometri ad alta sensibilità, in quanto il galvanometro è un dispositivo che traduce una corrente elettrica in un momento magnetico, in molte applicazioni è sostituito da strumenti di misura digitali, basati sul convertitore analogico-digitale.

Il suo uso più comune è come strumento di misura o come rilevatore di corrente continua, ma i galvanometri ad altissima sensibilità vennero usati nei ricevitori telegrafici posti all'estremità dei primi cavi sottomarini transatlantici.

L'amperometro è uno strumento per la misura dell'intensità della corrente che percorre una sezione di un conduttore, il suo nome deriva dall'unità di misura della corrente, l'ampere, in onore del fisico e matematico francese André-Marie Ampère.

- Sensori di tensione elettrica, un esempio è il voltmetro il quale è uno strumento che misura la differenza del potenziale elettrico tra due punti di un circuito, la cui unità di misura è il volt, in onore del fisico italiano Alessandro Volta.
- Sensori di potenza elettrica, un esempio è il wattmetro, il quale misura la potenza elettrica attiva generata su una sezione di una linea elettrica, il watt è l'unità di misura (in onore del matematico e ingegnere scozzese James Watt) il quale equivale a 1 joule al secondo ed è equivalente in unità elettriche a un volt

Capitolo 1 I sensori

per ampere.

Questi sensori vengono usati soprattutto per misurare la potenza elettrica negli impianti elettronici, ma vengono anche impiegati per controllare che le alimentazioni di apparecchi elettronici funzionino a dovere, per evitare casi in cui, funzionando non correttamente, facciano passare una potenza non sostenibile con il conseguente danneggiamento dei componenti o, al contrario, una scarsa potenza con la conseguenza di mal funzionamenti.[GP][DF]

Sensori magnetici, o magnetometri, strumenti che misurano il campo magnetico si dividono in 2 categorie: magnetometri scalari che misurano il modulo del campo magnetico; magnetometri vettoriali che misurano la componente del campo magnetico lungo una particolare direzione nello spazio.

Magnetometro ad ago Si tratta del più semplice e antico strumento per la misurazione del campo magnetico ed è costituito da un ago di materiale magnetizzato sospeso tramite un sistema meccanico ad attrito ridotto (generalmente un filo a basso momento di richiamo).

L'ago si orienta parallelamente al campo magnetico, rivelandone la direzione. Il sistema non è in grado di fornire la misura dell'intensità del campo.

A differenza della bussola, il magnetometro ad ago fornisce anche l'angolo di inclinazione.

I magnetometri vengono usati in ambito della sicurezza come metal detector in particolar modo nelle banche o negli aeroporti per rilevare la presenza di materiale metallico sia addosso a chi entra sia nei bagagli o altri contenitori che il cliente porta appresso.

Vengono utilizzati in archeologia per ricercare siti archeologici mediante rilevazione di materiali conosciuti ed utilizzati da antiche popolazioni, oppure per scoprire nei fondali marini vecchie navi, grazie al rilevamento delle loro parti metalliche.

I magnetometri vengono usati per direzionare i macchinari scavatori quando si devono scavare tunnel, per creare nuove strade oppure scavi per ricercare minerali di vario genere come il ferro, la magnetite, hematite, carbone, e spesso pyrrhotite.

Capitolo 1 I sensori

In ambito Spaziale, un magnetometro triassiale fluxgate era parte della missione Mariner 2 e Mariner 10 missioni nelle quali sonde robotiche orbitarono attorno a Venere e a Mercurio per misurarne i campi magnetici e informazioni relative.[WKM]

Sensori di pressione, di questi fanno parte il barometro e l'altimetro.

Il barometro è lo strumento di misura della pressione atmosferica, usato in meteorologia per le previsioni del tempo.

L'altimetro è uno strumento di misura che permette di misurare la distanza verticale di un corpo da una superficie di riferimento, che può essere il livello medio del mare, il suolo o un livello convenzionale.

Questi due insieme in aviazione vengono utilizzati per rilevare l'altitudine a cui un aereo si trova attraverso la rilevazione della pressione atmosferica in quanto quest'ultima diminuisce all'aumentare dell'altitudine.

Sensori di Movimento, tra questi troviamo il radar, il velocimetro, il tachimetro e i sensori ad infrarosso passivo (PIR, acronimo di Passive InfraRed).

Il radar è un sistema che utilizza onde elettromagnetiche appartenenti allo spettro delle onde radio o microonde per il rilevamento e la determinazione (in un certo sistema di riferimento) della posizione (coordinate in distanza, altezza e azimuth) ed eventualmente della velocità di oggetti sia fissi che mobili, come aerei, navi, veicoli, formazioni atmosferiche oppure il suolo.[WKR]

Ci sono varie applicazioni del radar, in ambito civile viene usato per il controllo del traffico aereo e navale, stessa cosa in ambito militare; radar meteorologici sono usati per le rilevazioni delle idrometeore e delle turbolenze in tempo reale su un territorio.

Radar Satellitari o aviotrasportati per applicazioni di telerilevamento.

La Polizia utilizza dai particolari radar per la misurazione della velocità di autoveicoli o motoveicoli (comunemente conosciuto come Autovelox), inoltre anche in campo sportivo viene utilizzato per misurare la velocità nelle competizioni sportive, come ad esempio nel tennis dove viene utilizzato per misurare la velocità della palla durante un servizio.[WKV]

Il tachimetro è lo strumento di misura della velocità di un mezzo di trasporto, generalmente terrestre, in un dato istante.

Capitolo 1 I sensori

Un apparecchio derivato, più complesso, detto *Tachigrafo*, è presente sui treni (in quelli più recenti integrato nel quadro di bordo); incorpora anche un orologio e registra su un'apposita striscia di carta scorrevole a velocità costante (detta *Zona Tachigrafica*) un grafico della velocità, del tempo trascorso e dello spazio percorso nonché altre informazioni tra cui i codici captati dell'apparecchiatura di ripetizione dei segnali.

Un derivato dal tachimetro, in uso sui veicoli per il trasporto di merci su strada è il cronotachigrafo, il quale registra il tempo impiegato alla condotta del mezzo ed altri parametri tra cui la velocità.[WKT]

Il sensore PIR è un sensore elettronico che misura i raggi infrarossi irradiati da un oggetto all'interno del suo campo di vista ottenendo, così, la rilevazione di movimento di persone, animali, o altri oggetti, attraverso l'emissione di energia sotto forma di radiazione luminosa che qualunque oggetto emana.

L'utilizzo più generale è quello in impianti antifurto e sistemi di illuminazione automatizzati.

Sono stati implementati dei circuiti in cui i PIR misurano la temperatura di un oggetto da remoto.

Con questo mezzo, misure di temperatura relativamente accurate e precise possono essere ottenute da remoto.[WKPIR]

Sensori di Orientamento, tra quelli di questo tipo ci sono il giroscopio, l'orizzonte artificiale e i sensori di posizione.

Il Giroscopio è un dispositivo fisico rotante che, per effetto della legge di conservazione del momento angolare, tende a mantenere il suo asse di rotazione orientato in una direzione fissa.

Essenzialmente è costituito da un rotore a forma di toroide che ruota intorno al suo asse, quando il rotore è in rotazione il suo asse tende a mantenersi parallelo a sé stesso e ad opporsi ad ogni tentativo di cambiare il suo orientamento.

L'effetto giroscopico è presente come effetto collaterale in tutti i dispositivi in rapida rotazione quali i volani e gli hard disk per computer e deve essere tenuto in considerazione nella progettazione dei medesimi.

Capitolo 1 I sensori

Un esempio di applicazione del giroscopio sono le Girobussole che indicano il nord vero al contrario delle bussole magnetiche che indicano il nord magnetico.

Le armi da fuoco sfruttano il principio del giroscopio, attraverso la rigatura presente nelle canne per imprimere al proiettile una rotazione in grado di conferire stabilità alla traiettoria, mantenendo il proiettile allineato sempre nella stessa direzione.

In ambito sportivo, ed anche medico, viene utilizzato il principio che sta alla base del giroscopio nelle Powerball, strumenti a forma sferica della dimensione di una palla da tennis utilizzati principalmente per allenare i muscoli delle braccia, ma che vengono usati anche per la riabilitazione specialmente per le articolazioni.

Inoltre nei primi anni del 2000 è stato inventato un piccolo veicolo a due ruote mantenuto verticale grazie a un sistema di giroscopi e sistemi di retroazione sui motori, chiamato segway HT.[WKG]

Alternativi al giroscopio tradizionale sono:

Giroscopi ottici, a fibre ottiche o laser; in essi due fasci di luce sono indirizzati lungo due percorsi curvi o poligonali sul perimetro di una figura perpendicolare all'asse di cui si vuole evidenziare la rotazione, si basano sul principio relativistico che la velocità della luce è costante in ogni riferimento inerziale.

Se il sistema descritto subisce una rotazione intorno all'asse, i due raggi di luce impiegheranno tempi differenti per compiere i due percorsi, ed un interferometro potrà rilevare questa differenza.[WKGL]

Esistono sistemi che impiegano come sensori cristalli piezoelettrici estremamente sensibili.

Tre di questi sensori disposti parallelamente ai tre assi cartesiani sono in grado di rilevare minime variazioni di orientamento.

Rispetto al giroscopio meccanico tradizionale questi sistemi sono molto più sensibili e non avendo parti in movimento, più rapidi nella risposta.

L'orizzonte artificiale è uno strumento giroscopico, che permette di conoscere l'assetto di un aeroplano anche in condizioni di bassa visibilità e di notte.[WKO]

Tra i sensori di posizionamento abbiamo il sensore di spostamento capacitivo il quale è un apparecchio capace di una misurazione con alta risoluzione della posizione o

del cambiamento di posizione di un obbiettivo, capace anche di misurare lo spessore o la densità dei materiali non conduttivi, questo sensore è utilizzato in un'ampia varietà di applicazioni incluso il processo per rendere un oggetto semiconduttivo, e assemblare attrezzature di precisione come le unità disco (Hard Disk, CD-rom, etc).

Sensori di prossimità i quali rilevano la presenza di oggetti nelle immediate vicinanze del “lato sensibile” del sensore stesso senza che vi sia un effettivo contatto fisico.

La distanza entro cui questi sensori rilevano oggetti è definita portata nominale (o campo sensibile) ed alcuni modelli dispongono di un sistema di regolazione per poter calibrare la distanza di rilevazione.

L'assenza di meccanismi d'attuazione meccanica, e di un contatto fisico tra sensore ed oggetto, fa sì che questi sensori presentino un'affidabilità elevata ed una lunga vita di funzionamento.

Vi sono diversi tipi di sensori di prossimità:

Sensori di prossimità induttivi si basano sul principio della variazione di riluttanza che presenta un elettromagnete quando nelle vicinanze si presenta un oggetto realizzato in materiale ferromagnetico: la comparsa di materiale ferromagnetico all'interno del campo magnetico, fa sì che il campo stesso si chiuda meglio, con conseguente abbassamento della riluttanza in conseguenza di ciò i circuiti interni del sensore rilevano la variazione di riluttanza e, superata una certa soglia, fanno commutare il segnale d'uscita.

Pertanto questi sensori di prossimità possono rilevare solo la presenza di oggetti realizzati in materiale ferromagnetico per cui la portata nominale risulta genericamente piuttosto bassa, dell'ordine di qualche millimetro.

Questi sensori possono commutare il loro stato a frequenze molto elevate, dell'ordine di migliaia di volte al secondo, rendendoli adatti a rilevare oggetti in rapido movimento.

Il circuito del sensore induttivo è formato da un oscillatore LC, da un raddrizzatore e da una bobina che viene alimentata con tensione sinusoidale ad alta frequenza di parecchi Mhz.

Sensori di prossimità capacitivi si basano sul principio della rilevazione della

Capitolo 1 I sensori

capacità elettrica di un condensatore: il loro lato sensibile ne costituisce un'armatura, l'eventuale presenza nelle immediate vicinanze di un oggetto conduttore, realizza l'altra armatura del condensatore così la presenza di un oggetto crea una capacità che i circuiti interni rilevano, comandando la commutazione del segnale d'uscita.

Rispetto ai sensori di prossimità induttivi, sono limitati nella velocità di commutazione (10-50 Hz), ma presentano altri vantaggi: portate nominali più elevate (fino a 20 mm); possibilità di rilevare oggetti non ferromagnetici, purché almeno parzialmente conduttivi; immunità a disturbi elettromagnetici.

Sensori di prossimità ad ultrasuoni funzionano sul principio del Sonar: emettono impulsi sonori ultrasonici, e rilevano un'eventuale eco di ritorno generato dalla presenza di un oggetto all'interno della portata nominale.

Vista la complessità, questi sensori sono costosi, ma dispongono spesso di funzioni evolute: impostazione della distanza di commutazione, uscita analogica per la trasduzione della distanza dell'oggetto rilevato, impostazione del campo sensibile, programmazione software e delle impostazioni dello strumento.

La velocità di commutazione di questi sensori di prossimità è bassa, ma in compenso presentano dei significativi vantaggi: possono avere portate nominali molto elevate (fino a 10 m); sono immuni ai disturbi elettromagnetici; possono rilevare oggetti di qualsiasi materiale; possono rilevare oggetti senza che questi siano stati preventivamente preparati.

Una certa attenzione va però posta nella dimensione e nell'orientamento della superficie dell'oggetto che si rivolge al sensore, infatti una superficie troppo piccola o orientata malamente può non assicurare la generazione di un'eco rilevabile.

Appartengono a questa categoria anche i sensori di retromarcia o di parcheggio per automobile.

Questi sensori hanno un'ampia varietà di applicazioni tra cui parcheggio assistito con rilevamento di oggetti e mezzi vicini il che permette alla vettura di parcheggiare in completa autonomia.

Nell'aviazione vengono usati per il rilevamento del suolo per allarmare il pilota in modo da salvarlo.

Vi sono sensori di prossimità anche nel sistema di sicurezza delle montagne russe per permettere la corsa a più treni; viene utilizzato il Block System il quale, attraverso sensori di prossimità posizionati sia sul percorso che sul treno, monitora il posizionamento delle singole unità permettendo al computer di gestione di mantenere il sistema in totale sicurezza

Sensori di prossimità ottici (chiamati anche Fotoelettrici) si basano sulla rilevazione della riflessione di un fascio luminoso da parte dell'oggetto rilevato. Normalmente viene usato un fascio di raggi infrarossi, in quanto questa radiazione difficilmente si confonde con i disturbi generati da fonti luminose ambientali.

Nella modalità d'uso più semplice, il fascio viene riflesso dalla superficie stessa dell'oggetto rilevato, per lo stesso fenomeno per cui la luce visibile può essere riflessa e percepita dai nostri occhi.

Il problema è che la quantità di radiazione riflessa dipende dalla composizione e dall'orientamento della superficie pertanto il campo sensibile di questi sensori di prossimità dipende sostanzialmente dalla natura della superficie dell'oggetto da rilevare: tipicamente da 10 a 100 cm.; montando un riflettore catadiottrico sull'oggetto da rilevare, si possono ottenere portate nominali molto alte (fino a 50 m) va comunque posta attenzione al posizionamento di fonti di luce artificiale: la proiezione di una forte luce su questi sensori ne può provocare l'accecamento.[WKP]

Sensori biometrici sono sensori utilizzati nella biometrica associata alla visione artificiale, ovvero l'identificazione di esseri umani dalle loro caratteristiche o tratti come impronte digitali, impronte retiniche o impronte vocali. [BO]

La biometrica è usata nella Computer Science, come forma di identificazione e controllo d'accesso, inoltre viene utilizzata per individuare individui singoli nella folla. [JAHLP]

Le caratteristiche biometriche vengono acquisite nella fase di registrazione con uno scanner. [JAAKRA] Determinate particolarità vengono estratte, elaborate, tradotte in un codice binario e successivamente deposte in modo cifrato in una banca dati, i nuovi dati acquisiti dallo scanner, vengono raffrontati con quelli già presenti e se coincidono si ha un risultato positivo nell'identificazione della caratteristica che viene analizzata.[BSA]

2 Le basi matematiche del Data Fusion

In questo capitolo si parlerà della teoria che sta alla base del concetto di “*Data Fusion*” cercando di dare una leggera infarinatura, enunciando solo le nozioni fondamentali.

Si parlerà di probabilità e soprattutto sul concetto di logica Fuzzy la quale è la logica che racchiude tutta l'essenza del “*Data Fusion*”.

2.1 Probabilistica del Data Fusion

L'incertezza è al centro di tutte le descrizioni del rilevamento e il processo di fusione dei dati.

Una misura esplicita di questa incertezza deve essere fornita per consentire una fusione efficiente e prevedibile delle informazioni sensoriali.

I modelli probabilistici forniscono un potente e coerente mezzo per descrivere l'incertezza in una vasta gamma di situazioni e portano, naturalmente, ad idee di fusione dell'informazione e di processo decisionale.

Quasi tutti gli algoritmi di “*Data Fusion*” convenzionali hanno, come componente fondamentale nel loro sviluppo, modelli probabilistici; sarebbe impossibile parlare di fusione dei dati, in qualsiasi modo coerente, senza, prima, ottenere una approfondita comprensione dei metodi di modellazione probabilistici.

Una funzione di densità di probabilità P_x è definita in una variabile casuale x , generalmente riportato come $P_x(x)$ o semplicemente $P(x)$, quando la variabile dipendente è evidente; la variabile casuale può essere uno scalare o grandezza vettoriale e può essere sia discreta che continua in misura.

La funzione di densità di probabilità è considerata come un modello, probabilistico, della quantità x ; osservazione o stato.

La funzione di densità di probabilità è considerata valida se:

- 1 è positiva; per ogni x , $P(x) > 0$;
- 2 Si riassume (integra) ad una probabilità totale di 1;

$$\int_y P(y)dy = 1.$$

Altri Teoremi che si utilizzano sono:

1. Probabilità assoluta (detto anche delle probabilità totali) afferma che : se A_1, \dots, A_n formano una partizione dello spazio campionato di tutti gli eventi possibili Ω (ossia $A_i \cap A_j = \emptyset \forall i \neq j$ e $\cup_{i=1}^n A_i = \Omega$) e B un qualsiasi evento (dipendete dagli eventi A_i), allora:

$$P(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i \cap B) = \sum_{i=1}^n P(A_i)P(B|A_i)$$

2. Probabilità condizionata, è la probabilità di un evento A rispetto ad un evento B , ovvero che si verifichi A , sapendo che B è verificato.

Questa probabilità, indicata come $P(A|B)$ o $P_B(A)$, esprime una “correzione” delle aspettative per A , dettata dall'osservazione di B (ha senso solo se B ha un probabilità non nulla di verificarsi).

3. Probabilità Composta, deriva dal concetto di probabilità condizionata $P(A \cap B) = P(B)P(A|B) = P(A)P(B|A)$, per cui la probabilità che due eventi si verifichino contemporaneamente è pari alla probabilità di uno dei due eventi moltiplicato con la probabilità dell'altro evento condizionato al verificarsi del primo.

2.2 Teorema di Bayes

Il teorema di Bayes (conosciuto anche come formula di Bayes o teorema della probabilità delle cause), proposto da Thomas Bayes, deriva da due teoremi fondamentali delle probabilità: il teorema della probabilità composta e il teorema della probabilità assoluta.

Viene impiegato per calcolare la probabilità di una causa che ha scatenato l'evento verificato.

Per esempio si può calcolare la probabilità che una certa persona soffra della malattia per cui ha eseguito il test diagnostico (nel caso in cui questo sia risultato negativo) o, viceversa, non sia affetta da tale malattia (nel caso in cui il test sia risultato positivo), conoscendo la frequenza con cui si presenta la malattia e la percentuale di efficacia del test diagnostico.

Formalmente il teorema di Bayes è valido in tutte le interpretazioni della probabilità.

In ogni caso l'importanza di questo teorema per la statistica è tale che la divisione tra le due scuole (statistica bayesiana e statistica frequentista) nasce dall'interpretazione che si dà al teorema stesso.

Enunciato del Teorema di Bayes:

Considerando un insieme di alternative A_1, \dots, A_n che partizionano lo spazio degli eventi Ω si trova la seguente espressione per la probabilità condizionata:

$$P(A_i|E) = \frac{P(E|A_i)P(A_i)}{P(E)} = \frac{P(E|A_i)P(A_i)}{\sum_{j=1}^n P(E|A_j)P(A_j)}$$

Dove:

- $P(A)$ è la probabilità a priori o probabilità marginale di A. “A priori” significa che non tiene conto di nessuna informazione riguardo E.
- $P(A | E)$ è la probabilità condizionata di A, noto E. Viene anche chiamata

probabilità a posteriori, visto che è derivata o dipende dallo specifico valore E .

- $P(E | A)$ è la probabilità condizionata di E , noto A .
- $P(E)$ è la probabilità a priori di E , e funge da costante di normalizzazione.

Intuitivamente, il teorema descrive il modo in cui le opinioni nell'osservare A siano arricchite dall'aver osservato E . [TB]

2.3 Filtro di Kalman

Il Filtro di Kalman, noto anche come stima lineare quadratica (linear quadratic estimation o LQE), è un algoritmo che utilizza una serie di misurazioni osservate nel tempo, contenente rumore (variazioni casuali) e altre imprecisioni, e produce stime di variabili incognite che tendono ad essere più precise di quelle con solo una misurazione di base.

Più formalmente, il filtro di Kalman opera ricorsivamente su flussi di dati in input rumorosi per produrre una stima statisticamente ottimale dello stato del sistema sottostante.

Il filtro prende il nome dal suo ideatore Rudolf E. Kálmán, uno degli sviluppatori principali della sua teoria.

Il filtro di Kalman ha numerose applicazioni in ambito tecnologico, come per esempio controllo di veicoli via terra, mare, e in particolare aeromobili e veicoli spaziali.

Inoltre il filtro di Kalman è un concetto ampiamente applicato in analisi delle serie temporali usate in campi come elaborazione del segnale e di econometria.

L'algoritmo funziona in un processo a due fasi, nella fase di previsione il filtro di Kalman produce stime dello stato attuale delle variabili, insieme con le loro incertezze.

Una volta che il risultato della misurazione successiva (necessariamente danneggiato con una certa quantità di errore, incluso il rumore casuale) viene osservato, queste stime vengono aggiornate utilizzando una media ponderata, assegnando maggior

importanza alle stime con maggiore certezza.

A causa della natura ricorsiva dell'algoritmo, quest'ultimo può funzionare in tempo reale utilizzando solo le ultime misurazioni in input e lo stato precedentemente calcolato con le sue matrici di incertezza; non è necessaria nessun'altra informazione precedente.

Si tratta di un malinteso comune che il filtro di Kalman presupponga che tutti i termini di errore e le misurazioni siano distribuite con metodo Gaussiano.

Il testo originale di Kalman enuncia che il filtro utilizzi la teoria della proiezione ortogonale per dimostrare che la covarianza sia minimizzata e il risultato non richieda nessuna assunzione ad esempio che gli errori siano Gaussiani.

Ha mostrato inoltre che il filtro produce esattamente la stima di probabilità condizionale nel caso particolare che tutti gli errori siano distribuiti mediante teoria Gaussiana. [Kalman]

2.4 Dempster-Shafer Teoria dell'evidenza

La Teoria Dempster-Shafer (dal nome degli autori, ovvero Arthur P. Dempster e Glenn Shafer) è una teoria matematica dell'evidenza: essa permette di combinare elementi forniti da differenti fonti e giungere ad un grado di convinzione (rappresentato da una funzione di convinzione) che tiene conto di tutte le evidenze disponibili. [SG] [DAP][FT]

In senso stretto, il termine teoria Dempster-Shafer si riferisce alla concezione originale della teoria ideata da Dempster e Shafer, ma è più comune utilizzare il termine in un più vasto senso dello stesso approccio generale, come adattato agli specifici tipi di situazioni.

In particolare, molti autori hanno proposto differenti regole per la combinazione dell'evidenza, spesso con una visione migliore nel gestire i conflitti nell'evidenza. [KSSF]

Convinzioni provenienti da differenti fonti possono essere combinate con diversi operatori di fusione per modellare situazioni specifiche di fusione di convinzioni, ad

esempio con la legge di combinazione di Dempster, che unisce i vincoli di convinzione che sono dettati da fonti di convinzioni indipendenti, come nel caso di combinare accenni o combinare preferenze. [JASP]

Si noti che le masse di probabilità provenienti da affermazioni che si contraddicono le une con le altre possono essere usate per ottenere una misurazione del conflitto tra le indipendenti sorgenti di convinzione. [KJMPA] [JAHR]

Altre situazioni possono essere modellate con differenti operatori di fusione, come una cumulativa fusione di convinzioni provenienti da fonti indipendenti le quali possono essere modellate con l'operatore di fusione cumulativa.

La regola di Dempster sulla combinazione è, alcune volte, interpretata come una generalizzazione approssimata della regola di Bayes. [JADJ]

In questa interpretazione i dati presi a priori e i dati condizionati non è necessario specificarli, contrariamente ai tradizionali metodi di Bayes, i quali spesso usano un argomento di simmetria (errore minimax) per assegnare le probabilità, a priori, a delle variabili casuali (ad esempio, assegnando 0.5 a valori binari per i quali non ci sono informazioni disponibili riguardanti quale sia il più probabile).

Tuttavia nessuna informazione contenuta nei dati presi a priori e nei dati condizionali mancanti viene utilizzata nella regola della combinazione di Dempster a meno che non possano essere ottenute indirettamente e probabilmente, ne segue la disponibilità per il calcolo utilizzando l'equazioni di Bayes.

2.5 Logica Fuzzy

La **logica fuzzy** o **logica sfumata** o **logica sfocata** è una logica in cui si può attribuire a ciascuna proposizione un grado di verità compreso tra 0 e 1, è una logica polivalente e, pertanto, un'estensione della logica booleana.

È fortemente legata alla teoria degli insiemi sfocati e, già intuita da Cartesio, Bertrand Russell, Albert Einstein, Werner Karl Heisenberg, Jan Łukasiewicz e Max Black, venne concretizzata da Lotfi Zadeh.

Con grado di verità o valore di appartenenza si intende quanto è vera una

Capitolo 2 Le basi matematiche del Data Fusion

proprietà: questa può essere, oltre che vera (= a valore 1) o falsa (= a valore 0) come nella logica classica, anche pari a valori intermedi.

Si può ad esempio dire che:

- un neonato è "giovane" di valore 1
- un diciottenne è "giovane" di valore 0,8
- un sessantacinquenne è "giovane" di valore 0,15

Formalmente, questo grado di appartenenza è determinato da un'opportuna funzione di appartenenza $\mu_F(x)$. x rappresenta dei predicati da valutare e appartenenti a un insieme di predicati X . μ rappresenta il grado di appartenenza del predicato all'insieme fuzzy considerato e consiste in un numero reale compreso tra 0 e 1. Alla luce di quanto affermato, considerato l'esempio precedente e un'opportuna funzione di appartenenza monotona decrescente quello che si ottiene è:

- $\mu_F(\text{neonato}) = 1$
- $\mu_F(\text{diciottenne}) = 0,8$
- $\mu_F(\text{sessantacinquenne}) = 0,15$

Nel 1994 Lotfi A. Zadeh, professore all'Università della California di Berkeley, scriveva:

il termine logica fuzzy viene in realtà usato in due significati diversi, in senso stretto è un sistema logico, estensione della logica a valori multipli, che dovrebbe servire come logica del ragionamento approssimato ma in senso più ampio logica fuzzy è più o meno sinonimo di teoria degli insiemi fuzzy cioè una teoria di classi con contorni indistinti. Ciò che è importante riconoscere è che oggi il termine logica fuzzy è usato principalmente in questo significato più vasto.

La teoria degli insiemi fuzzy costituisce un'estensione della teoria classica degli insiemi poiché per essa non valgono i principi aristotelici di non-contraddizione e del terzo escluso.

Si ricorda che, dati due insiemi A e $\neg A$ (non- A), il principio di non-contraddizione stabilisce che ogni elemento appartenente all'insieme A non può contemporaneamente appartenere anche a non- A ; secondo il principio del terzo escluso, d'altro canto, l'unione di un insieme A e del suo complemento non- A costituisce l'universo del discorso.

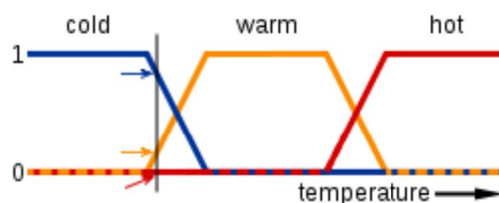
In altri termini, se un qualunque elemento non appartiene all'insieme A , esso

Capitolo 2 Le basi matematiche del Data Fusion

necessariamente deve appartenere al suo complemento non-A.

Un esempio di applicazione di questa logica in situazioni reali, la misura di una temperatura per un sistema anti-blocco di un impianto frenante potrebbe avere diverse funzionalità a seconda di particolari range di temperature per controllare i freni nella maniera corretta. Ogni funzione mappa un certo range di temperatura, come valori booleani 0 o 1 a seconda che la temperatura sia o meno nel range specifico.

Questi valori booleani possono essere utilizzati per determinare la maniera in cui i freni devono essere controllati.



In questa immagine le tre funzioni, cold (freddo in blu), warm (tiepido in arancione), e hot (caldo in rosso) sono rappresentate nel diagramma riferite alla comune variabile, la temperatura.

Una particolare temperatura assunta dal sistema anti-blocco (linea verticale in grigio) ha tre valori logici, uno per ciascuna delle tre funzioni. Finché la freccia rossa punta a zero, la funzione *hot* non è vera (temperatura non calda, con operatori matematici: "NOT hot").

La freccia arancione (che punta a 0,2) indica che la funzione *warm* è vera solo in piccola parte (si può descrivere a parole come "un po' tiepido"); al contrario la freccia blu (che punta a 0,8) indica che la funzione *cold* è abbastanza vera ("abbastanza *cold*").

La logica fuzzy è stata applicata in molti campi ingegneristici. Applicazioni della logica fuzzy si sono avute soprattutto nello sviluppo tecnologico degli elettrodomestici intelligenti da parte delle industrie giapponesi.

Un'altra applicazione reale della logica fuzzy è da pochi anni la logica della diagnosi clinica. In questo campo si è avuto un confronto molto interessante fra logica fuzzy e calcolo delle probabilità.

Per capire la differenza tra logica fuzzy e teoria della probabilità, facciamo questo esempio: Consideriamo un lotto di 100 bottiglie d'acqua che ne contiene 5 di

veleno.

Per la teoria delle probabilità, se prendo una bottiglia dal lotto ho la probabilità pari a 0,95 di pescare una bottiglia contenente acqua.

Il risultato dell'evento è bivalente: esito positivo 1, oppure negativo 0. In questo caso la logica bivalente esprime in maniera completa il caso e non avrebbe senso utilizzare la logica "sfumata", in quanto l'universo dei casi possibili si riduce a solo due casi distinti.

Adesso svuotiamo in un serbatoio tutte le 100 bottiglie del lotto, avremo una miscela composta per il 95% d'acqua e il 5% di veleno. Ora estraiamo dal serbatoio una quantità di miscela pari a una bottiglia.

Possiamo ancora parlare di probabilità? Ovviamente no, il risultato sarà deterministico.

Possiamo affermare che il liquido che abbiamo estratto sia acqua o veleno? No, sarà una miscela, dunque il risultato non potrà essere bivalente 0 o 1, ma dovrà assumere un valore "sfumato" tra 0 e 1.

Alla domanda: "La miscela che ho estratto è acqua o veleno?" con la logica fuzzy risponderemmo: posso dire che è acqua per un valore pari a 0,95 ed è veleno per un valore pari a 0,05.

In effetti non creo una netta separazione tra i due insiemi "acqua" e "veleno" ma esprimo un valore che mi dice in che misura il mio risultato appartiene all'insieme acqua e all'insieme veleno.

I valori fuzzy possono variare da 0 a 1 (come le probabilità) ma, diversamente da queste, descrivono eventi che si verificano in una certa misura mentre non si applicano a eventi casuali bivalenti (che si verificano oppure no, senza valori intermedi). [BK]
[GG]

3 Data Fusion aspetti implementativi

In questo capitolo si illustrerà il “*Data Fusion*” per poter dare un’ idea della struttura che sta alla base della fusione di dati acquisiti da differenti fonti, nel caso specifico si vedranno le varie associazioni di informazioni acquisite da sensori multipli i quali sono l'elemento utilizzato, comunemente, per acquisire informazioni.

3.1 Introduzione al Data Fusion

Da venti anni a questa parte, si era rivolta particolare attenzione alla fusione di dati di multisensori sia in ambito militare che non.

Il concetto di “*Data Fusion*” attraverso l'utilizzo di multisensori è molto recente.

Le tecniche di “*Data Fusion*” combinano dati e informazioni provenienti da molteplici sensori per ottenere valutazioni più specifiche rispetto a quelle ottenibili usando un singolo e indipendente sensore. Per capire cosa si intende con “*Data Fusion*” si può pensare a come gli umani e animali, con l'evoluzione, hanno sviluppato abilità che gli permettano di utilizzare molteplici sensi per ottenere un’informazione completa, fondamentale nel processo di sopravvivenza. Per esempio per valutare la qualità di una sostanza e la sua commestibilità, utilizzare solo la vista non permette una accurata valutazione, ma combinando vista, tatto, odore, e sapore la valutazione sarà molto più precisa, similmente quando la visibilità è limitata, l'udito fornisce un’ istanza vantaggiosa di allerta per eventuali pericoli.

Questo dimostra come il “*Data Fusion*” sia svolto naturalmente da animali e esseri umani per elaborare più accuratamente l'ambiente circostante e per identificare eventuali minacce migliorando le possibilità di sopravvivenza.[cit.3.1]

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

L'emergere di nuove tipologie di sensori, tecniche avanzate di processo, hardware processuale migliorato e vasta banda di comunicazione fanno sì che l'attività di “*Data Fusion*” sia effettuabile in tempo reale attraverso un calcolatore. Infatti già nei primi anni del 1970, con l'avvento dei computer a processo simbolico (ad esempio, computer simbolici e la *Lamba machine*) si iniziò a compiere studi su quella che venne definita, intelligenza artificiale.

I recenti sviluppi hanno poi fornito la capacità di emulare, in hardware e software, la naturale capacità di “*Data Fusion*” di animali e esseri umani.

Attualmente i sistemi di “*Data Fusion*” vengono utilizzati per il monitoraggio di target, identificazione automatica di target, e limitate applicazioni di ragionamento automatico.

La tecnologia del “*Data Fusion*” è rapidamente avanzata da una raccolta non omogenea di tecniche relative ad una vera e propria disciplina ingegneristica con una standardizzazione della terminologia, un insieme di tecniche matematiche robuste e principi di progettazione di sistema stabiliti.

Le applicazioni di multisensori sono diffuse in maniera significativa in diversi contesti e ambiti: applicazioni militari quali il riconoscimento automatico di target (ad esempio, armi intelligenti), veicoli con guida automatica, controllo del campo di battaglia e riconoscimento automatico di eventuali minacce (ad esempio, *identification-friend-foe-neutral* [IFFN] systems).

Le applicazioni militari includono anche monitoraggio delle condizioni di macchinari e armi, monitoraggio dello stato di salute di ogni singolo soldato e assistenza logistica.

Applicazioni non militari riguardano il monitoraggio dei processi di fabbricazione, manutenzione basata sulle condizioni di macchinari complessi, monitoraggio ambientale, robotica e applicazioni mediche.

Le tecniche per combinare o fondere dati sono ottenute da diversi gruppi di più tradizionali discipline come il processo di segnali digitali, valutazioni statistiche, intelligenza artificiale, e metodi numerici classici.

Storicamente, il “*Data Fusion*” è stato sviluppato principalmente per scopi militari, più recentemente è stato applicato anche per scopi civili. [TSJP]

3.2 I vantaggi di un sistema multisensoriale

Fondere dati provenienti da molteplici sensori fornisce vari vantaggi rispetto a dati ricavati da un singolo sensore.

Innanzitutto, se vengono utilizzati più sensori identici (ad esempio si utilizzano più radar identici per rilevare un oggetto in movimento), combinando le osservazioni si ricaveranno valutazioni di posizionamento e velocità del target migliori (ovvero più precise).

Un vantaggio statistico è ottenuto dall'aggiunta di N osservazioni indipendenti (ad esempio la valutazione della posizione e della velocità di un target sarà migliore di un fattore proporzionale di $N^{1/2}$), assumendo che i dati siano combinati in maniera ottimale.

Lo stesso risultato può essere ottenuto dalla combinazione di N osservazioni derivate da un individuale sensore.

Un ulteriore vantaggio deriva dall'utilizzo di un diverso posizionamento relativo di multisensori così da migliorare il processo di osservazione.

Per esempio, due sensori che misurano la direzione angolare di un oggetto vengono utilizzati unitamente per acquisire dati i quali verranno elaborati per determinare la posizione del medesimo attraverso triangolazione.

Questa tecnica è utilizzata in sondaggi e ricerche di mercato.

Analogamente utilizzando più sensori, uno in movimento con direzione nota rispetto ad un altro preso come riferimento con caratteristiche conosciute a priori, ci permettono di determinare istantaneamente la posizione e la velocità dell'oggetto preso in considerazione rispetto ai sensori di osservazione. [MHD]

3.3 Modello Processuale

Uno dei più grandi ostacoli all'utilizzo del “*Data Fusion*” in maniera diffusa fu la mancanza di un’ uniformità di linguaggio tra le sue varie applicazioni.

Anche in ambito militare vi sono applicazioni correlate ma distinte (come IFF, sorveglianza del campo di battaglia, il riconoscimento automatico degli obiettivi) le quali usano differenti definizioni per termini fondamentali, come correlazione e “*Data Fusion*”.

Per tentare di codificare una terminologia tale da permettere di superare le limitazioni di comprensione dovute a diverse metodologie di definizione dei dati da parte dei vari gruppi di lavoro sul “*Data Fusion*”, nel 1986 fu fondato un gruppo di lavoro costituito dai vari amministratori di sistema sia civili che militari chiamato *Joint Directors of Laboratories*, JDL.

Il modello processuale ideato dal JDL, fu sviluppato per essere il più generale possibile e quindi utilizzabile in molteplici aree di analisi, identificazione di processi, funzioni, categorie e tecniche applicabili al “*Data Fusion*”.

Il modello ha una gerarchia a due livelli, al livello superiore il processo del “*Data Fusion*” è concettualizzato dai valori in ingresso dei sensori, interazioni tra utente e computer, gestione del database, preprocessamento delle fonti, e può essere rappresentato da una schematizzazione ideologicamente suddivisa in sei sotto processi chiave mentre il secondo livello può essere riassunto nella sintesi ed analisi definitiva dei dati atti a supportare le decisioni necessarie al raggiungimento degli obiettivi prefissati.

I sei sotto processi possono venire rappresentati da :

Sotto processo 0 (*subobject data association and estimation*) mirato a combinare dati da pixel o livelli di segnale per ottenere informazioni iniziali riguardanti le caratteristiche dell'oggetto osservato.

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

Sotto processo 1 (*object refinement*) mirato a combinare i dati acquisiti da sensori per ottenere una più affidabile e accurata stima della posizione, velocità, di suoi attributi, e identità di una determinata entità (come supporto alla predizione e analisi di futura posizione, velocità, e attributi).

Sotto processo 2 (*situation refinement*) tentativi dinamici per sviluppare una descrizione delle relazioni correnti tra entità ed eventi nel contesto del loro campo di azione. Ciò comporta un raggruppamento e un'analisi relazionale dell'oggetto come struttura di forza e relazioni *cross-force*, comunicazioni, caratteristiche fisiche, etc.

Sotto processo 3 (*significance estimation*) proiettare la situazione corrente nel futuro per trarre conclusioni riguardanti il livello di minaccia, vulnerabilità, e opportunità di operazioni; inoltre predizione delle conseguenze, suscettibilità e valutazione della vulnerabilità.

Sotto processo 4 (*process refinement*) meta-processo che monitorizza la totalità del processo di “*Data Fusion*” per valutare e migliorare le performance in tempo reale del sistema; questo è un elemento della gestione delle risorse.

Sotto processo 5 (*cognitive refinement*) ricerca per migliorare l'interazione tra il *fusion system* e uno o più utenti/analisti. Le funzioni svolte includono un supporto alla visualizzazione, assistenza cognitiva, bonifica di pregiudizi, collaborazione, processo decisionale *team-based*, analisi in corso d'opera, etc.

L'immagine 3.1 illustra il modello di processo per il “*Data Fusion*” che il JDL ha ideato, per ognuno di questi sotto processi, il modello della gerarchia JDL identifica specifiche funzioni e categorie di tecniche (nel secondo livello) e specifiche tecniche (nel più basso livello).

L'implementazione di sistemi di “*Data Fusion*” integrano e intercalano queste funzioni in un flusso d'elaborazione complessiva.

Il modello di processo di “*Data Fusion*” è valorizzato attraverso l'utilizzo di una tassonomia gerarchica che identifica categorie di tecniche e algoritmi per eseguire le funzioni identificate.

Un lessico associato è stato sviluppato per fornire una definizione coerente di

terminologia di “Data Fusion”.[DHSAHM]

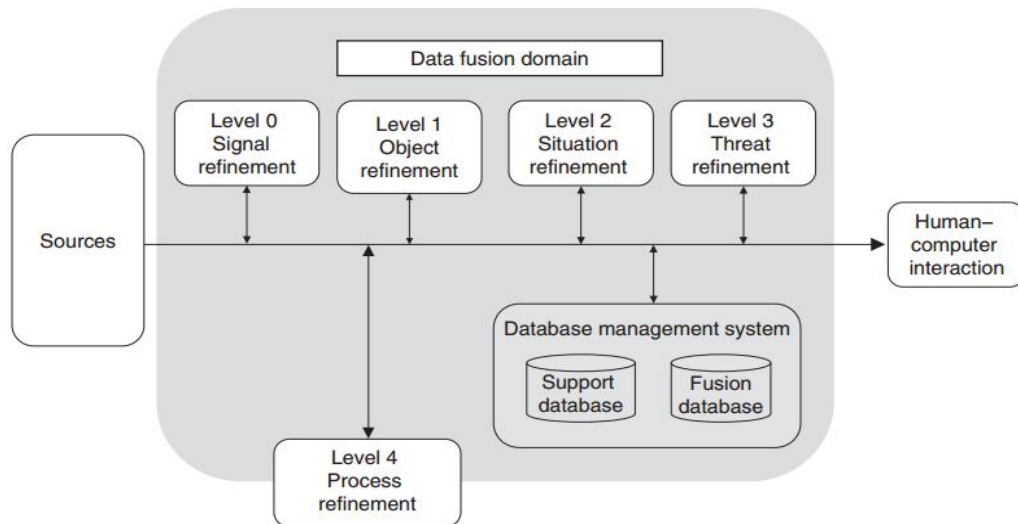


Immagine 3.1 Modello JDL [HMD]

3.4 Architettura a tre processi

Tre sono le principali opzioni che possono essere utilizzate per analizzare i dati ottenuti da un sistema di multi sensori:

- 2.1.1 Fusione diretta dei dati del sensore;
- 2.1.2 Rappresentazione dei dati del sensore attraverso estrazione di feature, con successiva fusione delle medesime.
- 2.1.3 Elaborazione delle informazioni di ciascun sensore per ottenere deduzioni di alto livello o decisioni le quali verranno successivamente combinate.

Ciascun di questi approcci utilizzano differenti tecniche di fusione illustrate nelle immagini seguenti.

L'immagine 3.2 illustra la fusione diretta dei dati dei sensori

L'immagine 3.3 illustra la rappresentazione dei dati acquisiti dai sensori

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

attraverso le loro *feature*, e successiva loro fusione.

L'immagine 3.4 illustra l'elaborazione di ciascun sensore per ottenere conclusioni di alto livello o decisioni, che vengono successivamente combinate. [HMD]

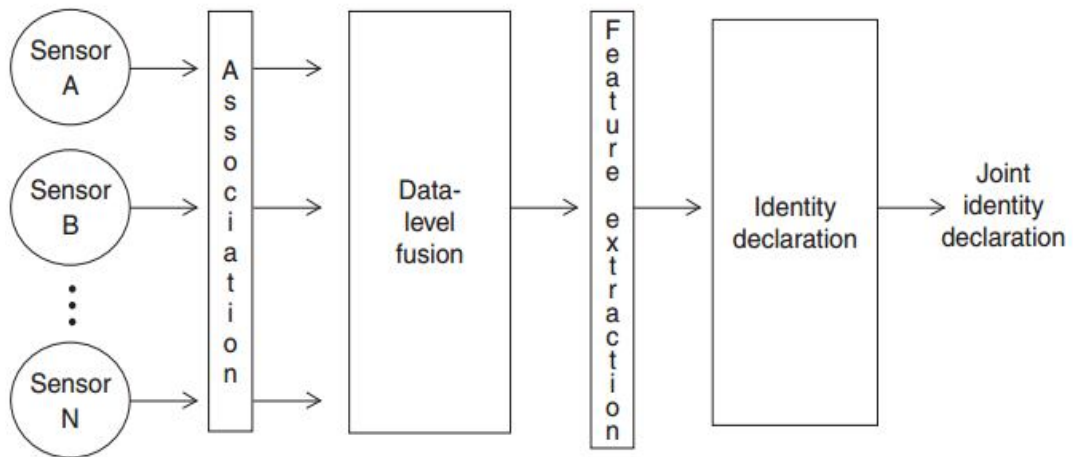


Immagine 3.2 [HMD]

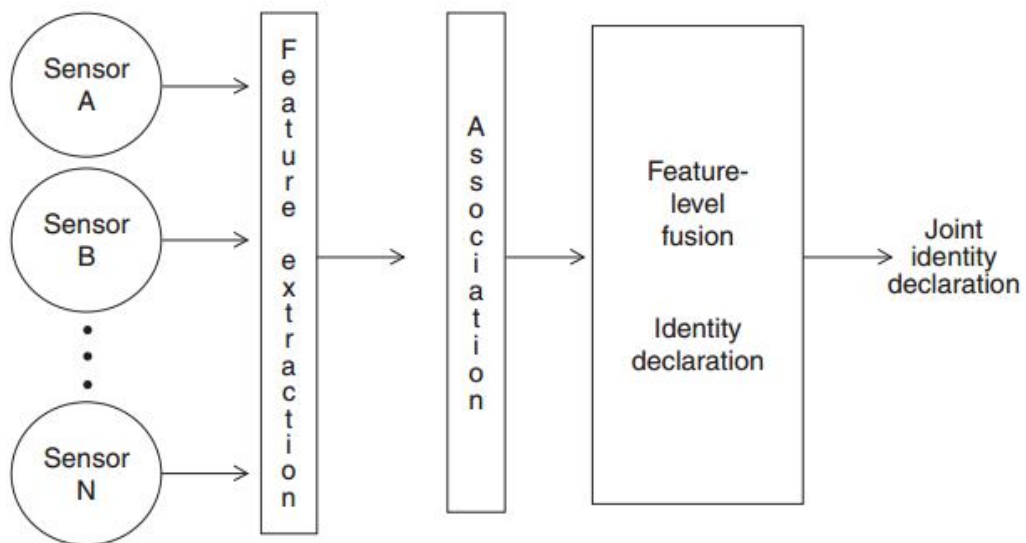


Immagine 3.3 [HMD]

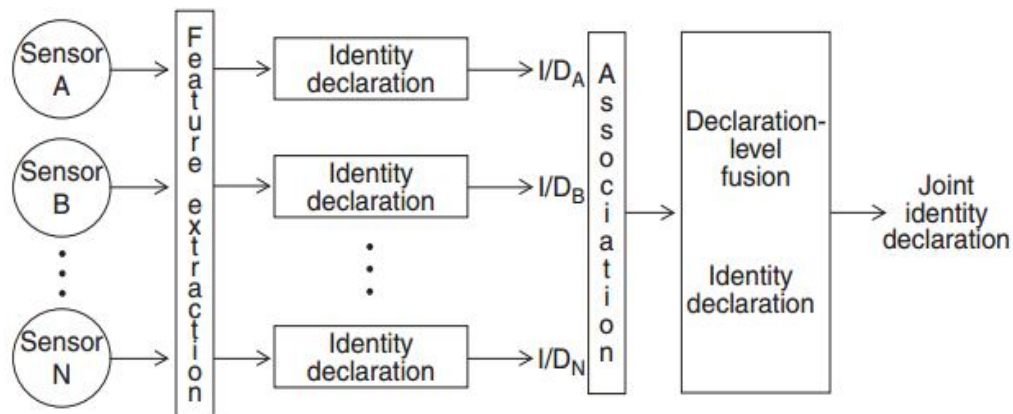


Immagine 3.4 [HMD]

Nel caso in cui i dati acquisiti da multisensori risultino sovrapponibili (come ad esempio nel caso in cui due sensori misurino lo stesso fenomeno fisico, ovvero due sensori ottici o due sensori acustici) allora i dati primari potranno essere combinati direttamente.

Tecniche di fusione di dati primari tipicamente coinvolgono metodi di valutazione classici come l'utilizzo del Filtro di Kalman.

Al contrario, se i dati del sensore non sono sovrapponibili allora i dati debbono essere fusi a livello di *feature/state* o decisionale.

La fusione a *feature-level* coinvolge l'estrazione di *feature* rappresentative dai dati dei sensori.

Un esempio di estrazione di *feature* è la fumettizzazione delle caratteristiche facciali chiave per rappresentare il viso umano; questa tecnica, la quale è molto utilizzata da coloro che creano immagini per identikit, utilizza *feature* chiave per permettere l'identificazione del soggetto voluto, tutto ciò evidenzia l'utilizzo di un sistema *feature-based* che permette, all'essere umano, una funzione cognitiva di riconoscimento di oggetti/persone.

Nel caso di fusione a livello di *feature* di multisensori, le *feature* sono estratte da osservazioni di multi sensori e combinate in una singola e concatenata *feature* la quale sarà il dato in ingresso per le tecniche di riconoscimento di *pattern* come le reti neurali,

algoritmi di raggruppamento, o metodi di *template*.

La fusione a livello decisionale combina informazioni acquisite da sensori successivamente alla preliminare determinazione di caratteristiche dell'entità in oggetto come la sua locazione, i suoi attributi, e la sua identità.

Esempi di fusioni a livello decisionale sono metodi decisionali soppesati (tecniche di votazione), deduzioni classiche, deduzioni utilizzando Bayes, e metodi basati su Dempster-Shafer. [HWS]

3.5 Problemi e sfide del Data Fusion

Durante lo sviluppo del “*Data Fusion*” sono stati riscontrati sette sfide o problemi:

1. Non c'è modo di sostituire un buon sensore;
2. Il *Downstream* non può risolvere gli errori dall'*Upstream*;
3. Il risultato ottenuto dalla fusione dei dati di più sensori può essere peggiore dal dato ottenuto da un buon sensore;
4. Non esistono algoritmi magici;
5. I dati sperimentali non sono mai abbastanza;
6. Quantificare il valore del "*Data Fusion*" è complesso;
7. La fusione dei dati non è un processo statico.

Ampliamo i seguenti argomenti come segue:

1. Tutt'ora non c'è modo di sostituire un buon sensore (e un buon utente che ne interpreta i risultati). Ciò significa che se qualcosa non possa essere effettivamente osservato o dedotto dagli eventi di cui ne ha fatto parte, allora nessuna quantità di informazioni combinate da più sensori consentirebbe di superare questo problema. Fintanto che si rimane nell'ambito di rilevazione di ben noti target (come ad esempio, sistemi degli armamenti, emettitori di vario genere, etc) si rimane nell'ambito di facili rilevazioni, mentre se ci trasferiamo

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

in ambito di ragionamento umano causa ovvi problemi il cercare cosa e come osservare. In particolare, quando si tenta di determinare le intenzioni umane.

2. I processi di *Downstream* non possono tuttora correggere gli errori di *Upstream* (o mancanza di attenzione nel controllo dei dati). Questo comporta chiaramente la necessità di svolgere al meglio ogni singolo passaggio del processo di “*Data Fusion*” ovvero di prestare attenzione ad ogni passaggio relativo all'elaborazione dell'informazione, dal primo ottenimento dei dati fino alla valutazione dei risultati.
3. Il risultato ottenuto dalla fusione dei dati di più sensori può essere peggiore dal dato ottenuto da un buon sensore, questo significa che bisogna prestare attenzione a grosse quantità di dati che potrebbero introdurre errori, ad esempio, per arrotondamenti o errate valutazioni.
4. Non esistono algoritmi magici che risolvano ogni circostanza, ma ogni circostanza specifica ha il suo algoritmo ottimale.
5. Le informazioni sperimentali non sono mai abbastanza, ovvero metodi ibridi che combinino informazioni esplicite ed implicite aiutano a migliorare i risultati.

Infine si è notato che ricerche intensive conducono allo sviluppo di fusione di dati per il sottoprocesso 0 e il sottoprocesso 1 del modello ideato dal JDL.

Ovvero si è partiti dalle informazioni in ingresso dei sensori e si è progredito fino all'interazione umana.

Ulteriori ricerche necessitano di cambiare la partenza, considerando prima l'interazione umana e progredire verso la fusione dei dati sensoriali.

Infatti il sottoprocesso 5 del modello ideato dal JDL della architettura del “*Data Fusion*” è stato ideato come riconoscimento di questa necessità.[DLHAS]

3.6 Information-Processing Cycle (IPC)

L'informazione rappresenta un gruppo di eventi riguardanti un argomento o un

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

oggetto.

Per scopi militari, così come in ambito finanziario o per interazioni umane, l'informazione è essenziale per aiutare il processo decisionale, ad ogni livello e aspetto della pianificazione, monitoraggio e esecuzione delle attività.

Il “*Data Fusion*”, viene descritto come un processo che continuamente trasforma i dati provenienti da molteplici sensori nelle informazioni riguardanti singoli oggetti o eventi.

Nella sua forma fondamentale l'IPC (*Information Processing Cycle*) viene utilizzato per poter eseguire una selezione dei dati rilevati ed ottenere delle risultanze tali da permettere di prendere decisioni relativamente all'evento analizzato.

L'IPC è costituito da elementi fondamentali quali :

- Gestione dei dati in modo tale da ottenere dei risultati che siano congruenti alle necessità decisionali.
- Aggregazione dei dati in maniera tale da supportare il processo decisionale.

Poiché la materia prima per i processi di fusione sono i dati provenienti dai molteplici sensori combinati con le informazioni prelevate da più fonti congruenti (ad esempio archivi informativi) dobbiamo riconoscere che la raccolta dei dati e la loro interpretazione risulti un elemento fondamentale della formazione di una decisione; tale orchestrazione di sensori ed individuazione delle fonti al fine di fornire elementi rilevanti per un determinato processo di fusione viene spesso chiamato con “Gestione delle Risorse”.

Le risorse sono i mezzi tecnici utilizzati (ad esempio: sensori, piattaforme, elaborazione grezza dei segnali ottenuti dai rilevatori) nonché i dati archiviati e le relazioni umane impiegate per raccogliere i dati essenziali.

La funzione di gestione delle risorse è fondamentale in quanto si dovrebbe eseguire un controllo sulla congruità dei dati e dovrebbe venire distinta da quella essenziale della fusione dei dati che, invece, è il momento successivo relativo alla stima di tali dati; la relazione matematica tra controllo dei dati e la stima è espresso come dualità.

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

Completando in maniera corretta il processo di acquisizione costituito dalla necessità di informazioni, gestione delle risorse, acquisizione dei dati dai sensori, analisi e fusione dei dati ottenuti, il processo di “*Data Fusion*” ci porterà alla sintesi delle informazioni coerenti e necessarie alla formazione delle decisioni finali. [HMD]

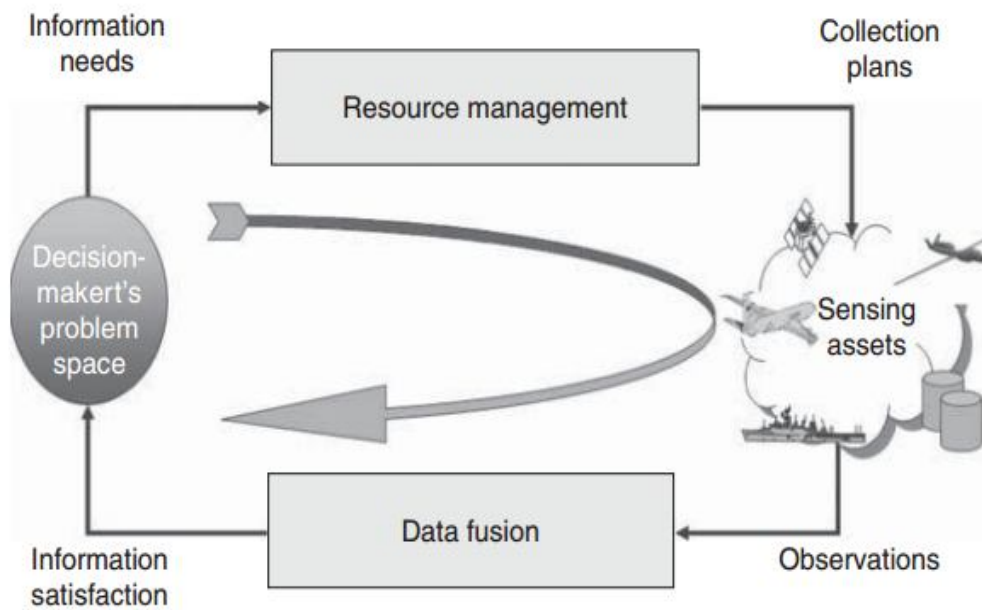


Immagine 3.5 Basic information-processing cycle [HMD]

3.6.1 Data Fusion

Come definito nel paragrafo precedente, il ruolo di fusione dei dati nel trattamento delle informazioni è quello di aggregare dati grezzi in un modo da fornire le informazioni di cui il decisore necessita cioè di ridurre al minimo l'incertezza dell'utente nei confronti delle informazioni di cui dispone.

La fusione dei dati è un processo compositivo che sfrutta più fonti di dati per ricavare stime ottimali di oggetti, situazioni e minacce.

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

Il processo implica perfezionamento continuo di ipotesi o deduzioni sugli eventi del mondo reale, le fonti di dati possono essere molto diverse comprese le osservazioni dei sensori, dati relativi a capacità (ad esempio le forze, le persone, attrezzature), ambiente fisico (ad esempio topografia, tempo, strade, strutture), l'ambiente culturale (ad esempio familiare, sociale, politica, connessioni religiose), ambiente informativo (ad esempio, finanziario, comunicazioni, reti economiche) ed ancora la dottrina e la politica.

Il “*Data Fusion*” fornisce i mezzi per ragionare su tali dati con l'obiettivo di ricavare informazioni su oggetti, eventi, comportamenti e intenzioni che sono rilevanti per il contesto operativo di ogni decisore.

Per ottenere un risultato soddisfacente da un processo di “*Data Fusion*” ed in particolare da un processo di “*Data Fusion*” Automatizzato, occorre l'esistenza a priori di informazioni e modelli di comportamento.

Il Data Mining è definito come la scoperta di metodologie di acquisizione dati per ricercare nuovi modelli che possono estrapolare dati rilevanti agli obiettivi prefissati.

Il suo ruolo è quindi quello di individuare nuovi modelli di attività o relazioni, o variazioni significative nei modelli esistenti.

Il Data Mining può essere definito come l'estrazione di modelli che sono nascosti in grandi quantità di dati.

Questo include la definizione degli obiettivi, selezione e preparazione dei dati e valutazione dei risultati con criteri tecnici e di business.

L'unione del “*Data Fusion*” e del Data Mining permette di creare una infrastruttura atta a creare un sistema che supporti l'ottimizzazione di tutti gli aspetti dell'IPC.

Lo sviluppo di questa infrastruttura sarà complesso ma è nelle possibilità del moderno sistema di gestione dell'informazione ed è l'obiettivo futuro dei sistemi di reti centralizzate.[HMD]

3.6.2 Gestione delle Risorse

La gestione automatizzata delle risorse è stata utilizzata in campo militare e commerciale con notevole efficacia, il suo ruolo è quello di trasporre i dati necessari al decisore in metodologie di acquisizione dati in modo tale da ottenere le informazioni necessarie alle proprie esigenze ossia, in breve, operare in modo da poter massimizzare il valore dei dati e delle informazioni raccolte.

La gestione risorse è un processo di scomposizione delle informazioni nelle loro parti costituenti fondamentali che includono i metodi di raccolta, definizione delle mansioni e la pianificazione.

Illustriamo quanto definito con il modello seguente mostrato nell'immagine 3.6 :

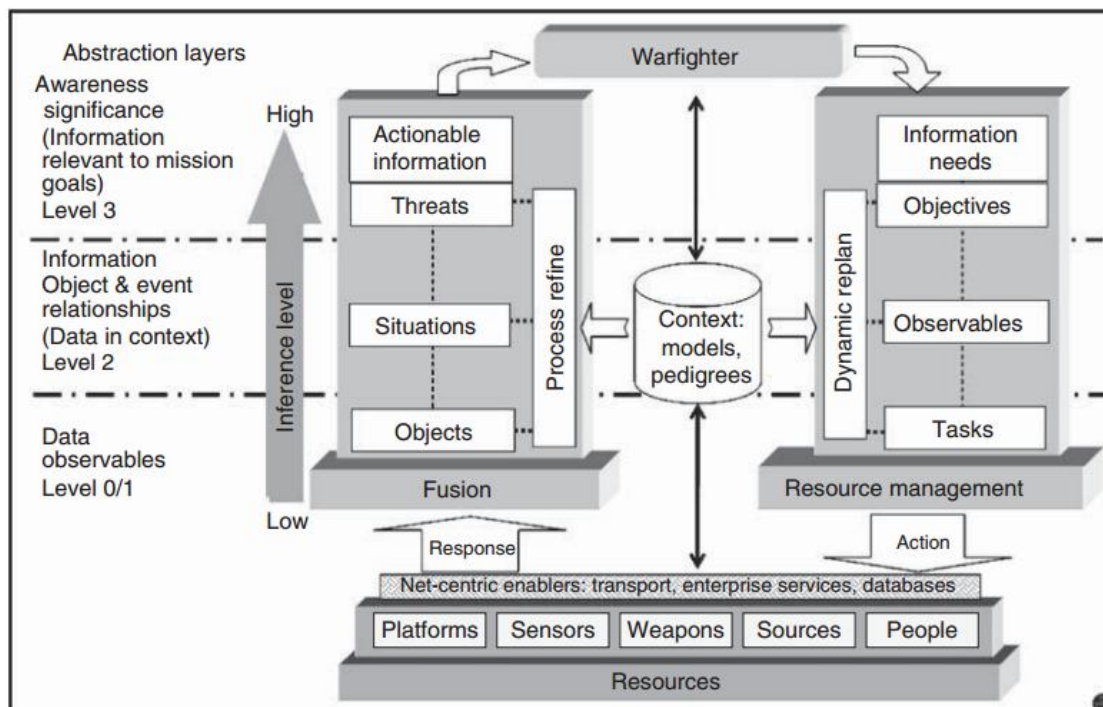


Immagine 3.6 [HMD]

- *Information Needs:* riflette la necessità di acquisire la totalità delle

informazioni necessarie a definire lo stato di fatto.

- *Collection objectives*: definisce quali siano gli indicatori ed i dati rilevanti per ottenere gli obbiettivi prefissati.
- *Observables*: definiscono le modalità di rilevamento ed acquisizione dei dati necessari al raggiungimento degli obbiettivi prefissati.
- *Tasks and plans*: seleziona i migliori sensori, rilevatori di dati (o loro combinazione) secondo le loro caratteristiche di acquisizione dati. [JCS]

3.6.3 Ruolo Umano

L'utilizzo di sistemi di reti centralizzate comporta la necessità di una grande quantità di sistemi automatizzati per svolgere quelle funzioni che attualmente vengono ricoperte da persone fisiche.

La complessità indotta da reti di livello *enterprise*, le necessità di una altissima velocità di computazione parallela, di rapida risoluzione ed altrettanto rapida valutazione di ciò che sarà necessario ad ogni singolo nodo porta a valutare l'inadeguatezza dell'apporto umano per molti ruoli in una evoluta rete centralizzata.

Gli esseri umani dovranno interagire con le funzionalità automatizzate per fornire il controllo e la conferma di situazioni critiche.

I sensori sono quindi un elemento fondamentale, ma non sono l'unico: a rendere realmente intelligente un sistema è il modo in cui le informazioni fornite dai sensori vengono gestite, interpretate, integrate ed elaborate.

La prerogativa fondamentale per poter parlare di intelligenza, così come avviene per il cervello umano, consiste, infatti, nel come le diverse informazioni e le diverse fonti di dati vengono integrate tra loro, generando decisioni e reazioni che tengano conto contemporaneamente di tutta la conoscenza disponibile.

Questo è il presupposto che sta alla base di tutte le tecniche di analisi e

trattamento dati che vanno sotto il nome di “*Data Fusion*”, e che stanno catturando sempre più l’attenzione e l’interesse di chi sviluppa sistemi hardware e software con l’obiettivo di avvicinarsi all’idea di una macchina realmente intelligente. [HMD]

3.7 Ruolo Umano e Data Fusion

Prima di poter definire che un sistema automatizzato di “*Data Fusion*” sia la soluzione ad un problema, dobbiamo considerare un ben preciso obiettivo. I passi per raggiungerlo e le capacità necessarie, ovviamente le informazioni necessarie potranno essere stabilite esclusivamente da quegli *user* che utilizzeranno il sistema.

Una volta stabiliti gli obiettivi occorrerà altresì definire le funzioni che rileveranno ed analizzeranno i dati. Infine la trasformazione dei dati in risultati dovrà soddisfare il fine di realizzabilità.[HJMSA]

Il sottoprocesso 5 del JDL, preliminarmente definito “*user refinement*”, pone l’accento sullo sviluppo del modello processuale di “*Data Fusion*” in modo tale che sia quanto più corrispondente al processo cognitivo di elaborazione dati umano, sulla capacità di svolgere un ruolo nel controllo e gestione delle informazioni e per comprendere le attività di supporto necessarie per pianificare, organizzare e coordinare i sensori, piattaforme e risorse di calcolo.[CVVGAS][AMRG]

A questo punto esploreremo tre tipologie di *user*:

- *Prototype User*,
- *Operational User*,
- *Business User*.

Prototype User: devono essere coinvolti in tutto il processo di progettazione e sviluppo per garantire che il sistema soddisfi le specifiche.

Operational User: devono essere coinvolti per valutare il loro comportamento nei confronti del sistema in quanto, spesso, mancano di fiducia nel sistema di “*Data*

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

Fusion” perché non ne comprendono il processo.

Business User: si concentrano sulle funzioni di perfezionamento per pianificare, organizzare, coordinare, dirigere e controllare gli aspetti in termini di risorse, processi di approvazione, e le esigenze di distribuzione.[BE]

I progetti di “*Data Fusion*” possono essere separati in due livelli: micro e macro.

Il micro livello comporta l'utilizzo di una serie precisa di sensori in un delimitato ambiente; degli esempi sono un medico che richiede un resoconto combinato di una immagine risultate da un esame PET e un esame MRI, un proprietario che controlla il resoconto finanziario della propria attività.

Questi sono casi in ambienti ben delimitati nei quali il ruolo del “*Data Fusion*” è ben definito e le decisioni sono immediate.

I casi più difficili sono quelli di macro livello come l’analisi dei rappresentanti politici che gestiscono la società, un consiglio aziendale di gestione di un business trans-continentale.

La complessità del macro livello, generalmente, coinvolge una vastità di *user* e sensori che operano su una varietà di fonti di dati e informazioni molto ampia.[WEJL]

L'*user* può assumere molti ruoli:

- *Prioritizer*,
- *Sensor*,
- *Operator*,
- *Controller*,
- *Planner*,

e, conseguentemente, può progettare, pianificare, implementare ed eseguire un progetto di “*Data Fusion*”.

Anche se ci sono una miriade di ruoli che potrebbero essere determinati, una tassonomia è presentata nella Tabella seguente.

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

Users and their Refinements in the Stage of an Information Fusion Design

User	Conceptualizing	Designing	Deployment	Execution	Reporting
Prioritizer	Systems, database	Database size	Access	Maintenance of the database	Intelligence reports
Sensor	Visual observations	Training	People on station	Reports	HUMINT reports
Operator	Interface design to augment assigned task	Which actions in the interface	Monitor sensor images, signals	Monitor and report information	Screen selection
Controller	Sensor planning	Sensor suite	Turn on sensor platform routing	Steer the sensor to spots	Spot looks
Planner	Architecture	Budgets	Platform availability	Platform resources (e.g., gas)	Task orders

Tabella 3.1 [HMD]

Il primo ruolo è quello di un *prioritizer* che determina quali oggetti siano di interesse, dove cercare e quali informazioni di supporto dal database siano necessarie.

Il secondo ruolo è quello di un *sensor* che genera i rapporti sugli eventi osservati, prende decisioni sulle query dei dati e redige le informazioni.

Il terzo ruolo è quello di un *operator*, che include la verifica dei dati, ad esempio per evidenziare immagini, e progetta interfacce necessarie al raggiungimento del compito assegnato.

Il quarto ruolo è quello del *controller* che determina l'utilizzo di sensori e piattaforme, gli obiettivi, e utilizza l'output del “Data Fusion” per raggiungere traguardi di più larga scala.

Infine il *planner* che non si sofferma a valutare le situazioni nel presente, ma pianifica le attività future per il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Senza un adeguato apporto, da parte degli *user*, delle proprie conoscenze tutte finalizzate alla risoluzione dei problemi che vengono affrontati utilizzando vincoli, pianificazioni operative, e algoritmi i progetti ingegneristici avrebbero poche possibilità di essere sviluppati.

Come ci illustra la tabella precedente, lavorando con un team di *user*, si rimane entro i limiti dettati dalle basi di dati disponibili, dalla capacità di sfruttamento delle osservazioni, allocazione dei compiti e piattaforme.

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

Tutto ciò focalizza l'attenzione sul fatto che gli *user* servano a definire le caratteristiche di progetto delle tecniche di fusione dei dati realizzabili.

Per controllare i costi di implementazione e manutenzione, gli sviluppatori di software hanno bisogno di lavorare con gli *user* per poter includere elementi di comando come il filtraggio dei dati, la ri inizializzazione degli algoritmi e l'iniziazione dei processi.

3.7.1 Lista di priorità

Gli *user* hanno il compito di minimizzare la quantità di informazioni allo stretto necessario per poter svolgere attivamente l'elaborazione dei dati raccolti e sintetizzati.

Alcuni punti di prioritaria importanza a cui gli *user* devono attenersi sono :

- *Things*: Oggetti, quantitativamente e tipologicamente vari; rischi, sia che siano nocivi, passivi o utili; l'ubicazione, sia che sia vicina o lontana; primitive di base, le caratteristiche, i confini, e variazioni significative di vario genere, la presenza di nuovi oggetti sconosciuti o conosciuti.
- *Processes*: affidabilità del sistema di misurazione (incertezza), capacità di raccogliere una grande quantità di dati, rallentamenti nel processo di valutazione, quantità di utenti e interazioni.

Gli *user* devono privilegiare la raccolta di quelle informazioni necessarie a soddisfare le esigenze dei *designer*.

Gli *user* devono avere la capacità di definire o selezionare gli oggetti ed i processi più adatti a trasformare i dati grezzi nelle informazioni in output del processo di “*Data Fusion*”.

Un problema nel trattamento dei dati durante il processo di “*Data Fusion*” è legato alla capacità di comprenderne l'origine.

Per determinare una zona di interesse gli *user* devono cercare di rispondere a domande fondamentali quali:

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

- Chi ha il controllo degli oggetti di interesse (ad esempio, le informazioni sulle minacce),
- Quali sono gli oggetti e le attività di interesse (ad esempio, diagnosi, prodotti e *targets*),
- Dove sono gli oggetti presi in considerazione (zone di interesse),
- Quando si dovranno valutare i dati
- Come si dovranno acquisire i dati (esempio, sensori)
- Quali sensori si dovranno utilizzare e quali algoritmi sfruttare per gestire le informazioni

Quanto sopra definisce il livello di incertezza delle informazioni necessarie al processo di “*Data Fusion*”.

La scala delle informazioni necessarie e la riduzione dell'incertezza cambiano a seconda del contesto su cui si stanno effettuando le procedure di analisi, acquisizione ed elaborazione dei dati. [FWJEB]

3.7.2 Problemi nell'*User-Refinement*

La progettazione di sistemi complessi e distribuiti di supporto alle decisioni richiedono una comprensione sia dei processi di “*Data Fusion*” che di Data Mining. Questi processi permettono di processare i dati in informazioni, le informazioni in decisioni, le decisioni in progetti, e i progetti in azioni.[BEPSP]

I principali problemi che si dovranno affrontare sono la tempestività, la minimizzazione dell'incertezza e la qualità dell'output.

Il *Situation Awareness* (SA) è un concetto importante il quale illustra come gli *user* abbiano la consapevolezza di quello che succede nel campo di interesse, in modo da capire come eventi, informazioni, dati e proprie azioni influenzino gli obiettivi e i traguardi che si sono prefissati, sia nell'immediato che nel futuro.

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

[GDDGJK][EMR][EMRDJG]

Questo concetto lo si può suddividere in 3 livelli:

Livello 1 SA: *perception*, percezione di tutti gli elementi del campo di interesse,

Livello 2 SA: *comprehension*, comprensione della situazione corrente,

Livello 3 SA: *projection*, proiezione della situazione attuale nel futuro.

Gli *operator* dei sistemi dinamici utilizzano il loro SA per determinare le azioni da intraprendere.

Per ottimizzare il Data Mining, il SA creato utilizzando il “*Data Fusion*”, dovrà essere il più preciso possibile rispettando gli oggetti nel campo di interesse (Livello 1 SA).

La stima e la previsione delle relazioni tra gli elementi costituenti il campo di interesse (Livello 2 SA) richiedono degli input selettivi da parte degli *user* al fine di definire tali elementi e fornire un supporto alle necessità di progetto degli *operator* (Livello 3 SA) per facilitare il raggiungimento dei loro obbiettivi.

L'immagine 3.7 illustra il *workload* come componente chiave che non influenza solo il SA, ma anche le decisioni e i tempi di reazione degli *user*:

Per comprendere come gli esseri umani utilizzino i contesti della situazione per migliorare il SA, si utilizza il modello *recognition primed decision-making* (RPD), illustrato nell'immagine 3.8.

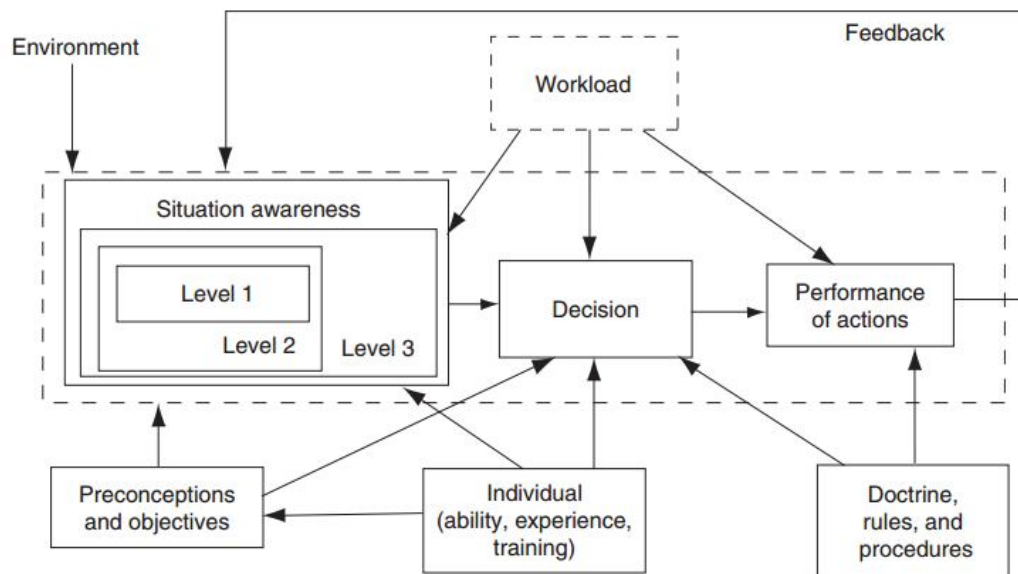
Il modello RPD sviluppa la capacità di *Data Mining* degli *user* basandosi sulla situazione corrente e le esperienze passate.

Il modello RPD mostra gli obbiettivi degli *user* e gli spunti importanti.[KGA]

Dal “*Data Fusion*”, sia gli *user* sia gli algoritmi dello stesso possono determinare vicendevolmente i dati che necessitano.

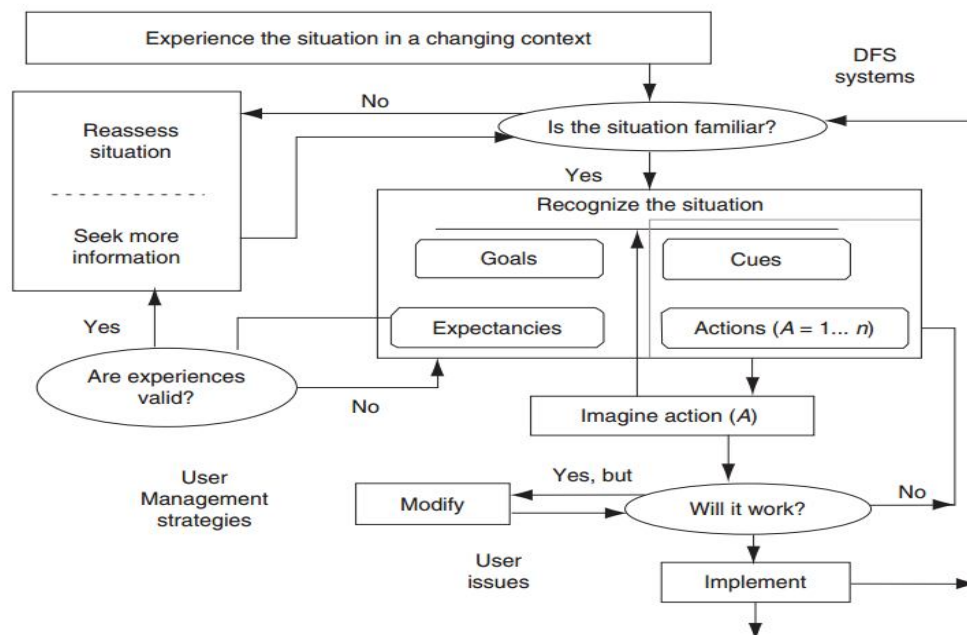
Gli *user* possono interagire con il “*Data Fusion*” attraverso i dati selezionati e/o una specifica raccolta di dati dei sensori.[HMD]

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi



Endsley's situation awareness model.

Immagine 3.7 [HMD]



Recognition primed decision-making model for situational awareness.

Immagine 3.8 [HMD]

3.8 Interfacce Uomo-Computer

La rapida evoluzione delle interfacce uomo-computer ha evoluto il concetto di interazione tra gli analisti / *user* ed il sistema di “*Data Fusion*”, queste nuove interfacce includono sistemi 3D, sistemi per immergere lo *user* in una visualizzazione a tutto campo ossia a 360°, sistemi di immersione nell’ambiente acustico e interfacce aptiche.

L’immersione dello *user* in un ambiente 3D a 360° introduce il concetto di Realtà Virtuale (VR) che viene utilizzato per ricreare la realtà attraverso la digitalizzazione delle immagini.

Un altro stadio di interazione tra *user* e computer coinvolge il concetto di sonificazione ossia l’utilizzo di audio non vocali per trasmettere informazioni o dati percettivi; ad esempio la velocità del ticchettio di un contatore Geiger permette di comprendere il livello di contaminazione pur non essendo vicini allo strumento.

Le interfacce aptiche, le più evolute in campo tecnologico, sono dispositivi che permettono di manovrare un robot, reale o virtuale, e di riceverne delle sensazioni tattili in risposta (retrazione o *feedback* ad esempio in campo medico i robot chirurgici); un esempio potrebbe essere un joystick con ritorno di forza (*force feedback*), un mouse in cui la rotellina si blocca quando il puntatore arriva ai margini dello schermo o un display in braille utilizzato dai non vedenti.

Le interfacce aptiche sono utili e necessarie in quei contesti in cui la sola visione di quanto sta accadendo non è sufficiente all’operatore per garantire un controllo corretto. Ecco quindi i settori di robotica avanzata come la robotica chirurgica, quella spaziale e quelli relativi alla realtà virtuale come la telemanipolazione o l’addestramento con operazioni simulate. Oltre che nel settore della robotica le interfacce aptiche sono utili ove è necessaria un’interazione fra computer ed operatore come nel settore della modellazione solida ove l’interfaccia aptica permette all’utente di sfruttare le proprie capacità manuali mantenendo il senso del tatto.

Capitolo 3 Data Fusion aspetti implementativi

Interfacce innovative dovrebbero essere ricercate per sostenere ed ampliare il “*Data Fusion*” e la comprensione dei dati; le ricerche orientate alle innovazioni nel campo delle interfacce dovrebbero essere condotte allo sfruttamento delle capacità multisensoriali dell’utente / analista per migliorare la comprensione, l’analisi e l’elaborazione dei dati tra questi citiamo i sistemi embedded.

Tali sistemi embedded stanno evolvendo in forme e funzionalità tali da non essere più compatibili con le modalità tradizionali di interfaccia uomo-macchina basata sulla visualizzazione e sulla immissione di dati simbolici.

I sistemi embedded sono application-oriented e quindi ottimizzati sotto tutti gli aspetti, in particolare quelli relativi all'interfaccia. In particolare, i sistemi embedded indossabili, utilizzano la comunicazione fisiologica per interagire con l'utilizzatore, il quale a sua volta comunica con il sistema tramite il suo corpo.[MG]

Il sensor fusion è la parte intelligente che rende un sistema multisensoriale un unico sensore equivalente che consente di prendere decisioni in un contesto di interazione con la persona e con l'ambiente.

Questo è il sensing contestuale intelligente.

Grazie ai sensori, l'interfaccia utente non solo consente di comunicare in termini di comandi, ma consente anche di comunicare in termini emotivi, comportamentali e ambientali. A questa integrazione sensoriale si affianca quella di elaborazione intelligente e aggregata dei dati sensoriali (sensor data fusion) che consente al sistema di operare come se fosse un supersensore intelligente.

Aggiungendo l'analisi contestuale al sistema integrato di sensori, inclusi gli algoritmi che consentono di prendere decisioni, il sistema sensoriale diventa un sottosistema decisionale autonomo che abilita l'host all'esecuzione di funzionalità contestualizzate all'ambiente e alla persona. Altri sensori come il magnetometro e il giroscopio danno altre utili informazioni che unite a quelle di natura ambientale come la pressione, la temperatura e il suono, grazie a un'elaborazione di fusione delle informazioni, porta a interpretare in maniera corretta, dati gestuali e ambientali anche molto complessi. [DLH]

4 APPLICAZIONI

L'evoluzione tecnologica sempre più rapida e l'approfondimento delle tecniche di sviluppo informatico e dei linguaggi espandono, giornalmente, la nostra concezione di macchina intelligente: quando parliamo di tecnologia “smart” ci riferiamo alla capacità di un sistema locale o remoto di monitorare ed adattarsi all'ambiente che lo circonda comprendendo, in ciò, anche il concetto di rapporto tra macchine collegate in rete fino all'integrazione di diverse funzionalità all'interno dello stesso dispositivo.

Applicare tale concetto ad un sistema di produzione significa abbandonare il mero funzionamento meccanico integrandolo con tecnologie avanzate in grado di aumentare la qualità del sistema produttivo, la sicurezza dell'impianto oltre alla flessibilità delle linee produttive capaci di evolvere verso una piattaforma versatile di multi adattabilità verso processi diversi che si integrino maggiormente con l'operatore umano.

Tale processo coinvolge, necessariamente, la messa in opera di numerosi sistemi di rilevamento dati quali : sensori di prossimità, sensori di posizionamento assiale nello spazio, sensori di rilevazione dello stato di fatto produttivo in modo da soddisfare i requisiti di sicurezza (attenzione alla eventuale intrusione di elementi estranei nella linea produttiva) e volumi di produzione.

L'impegno di risorse ed i capitali necessari allo sviluppo di tale sistema di controllo e le necessarie tecnologie correlate rende evidente che i settori in cui, maggiormente, il “*Data Fusion*” trova impiego siano il campo militare, l'aerospaziale e la robotica anche se un numero sempre maggiore di applicazioni sta emergendo supportato dalla continua evoluzione di unità ad alta potenza di calcolo a prezzi sempre minori; tra questi possiamo ricordare i sistemi di guida integrata (settore automobilistico), quello dell'automazione industriale od i sistemi biomeccanici e chirurgici (sistema DaVinci). [MG]

4.1 Data Fusion e macchine utensili

Cerchiamo di approfondire il “*Data Fusion*” analizzando un sistema di automazione industriale assimilando i sistemi di controllo e gestione al processo di apprendimento e decisione proprio del cervello umano.

Così come il cervello umano analizza lo stato di fatto dell’individuo utilizzando, contemporaneamente, tutti i sensi, così una macchina utensile sensorizzata deve acquisire, analizzare e fotografare lo stato generale (sintomi di guasto o anomalie di processo), il posizionamento nello spazio dell’utensile oltre alla procedura eseguita e l’avanzamento del processo.

Sfruttando i dati provenienti dalla rete di sensori deve diagnosticare lo stato proprio della macchina nel suo insieme, lo stato dell’utensile e se il funzionamento di tutto l’apparato continui a rispondere ai parametri stabiliti adattando il processo al variare dei valori rilevati; tali compiti vengono svolti durante il processo il che aumenta enormemente la necessità di potenza di calcolo e la quantità di sensori necessari al controllo “*in-process*”.

Da tutto ciò si ricava quale sia la complessità del processo decisionale, ne consegue che non si possano ottenere risultati accettabili sfruttando un unico sensore inoltre, spesso, i sensori maggiormente informativi non possono venire posizionati in punti strategici della macchina per cui si incorre nella necessità di trovare compromessi nella configurazione della rete di sensori; da quanto detto si ricava che l’informazione finale che sarà possibile ottenere sarà imprecisa.

Purtroppo la rete di sensori pone un altro problema a cui il sistema di “*Data Fusion*” deve necessariamente porre attenzione: l’eterogeneità dei sensori fornirà dati di natura e formato differente e ciò impone la capacità di rendere coerenti i dati acquisiti costringendo a ricorrere a sistemi di gestione dati altamente performanti e procedure computazionali efficienti.

Oltre che al processo decisionale mirato all’ottenimento del risultato voluto, il sistema di “*Data Fusion*” deve far fronte ad un problema altrettanto importante: la

Capitolo 4 Applicazioni

determinazione dello stato di salute del sistema.

Un'estesa rete di sensori fornisce un'enorme massa di dati ma, contemporaneamente, si presenta il problema di analizzare la correttezza di tali dati; uno o più sensori potrebbero essere soggetti a disturbi temporanei, o a guasto, per cui riveste grande importanza determinare se l'anomalia rilevata sia da ascrivere al mal funzionamento del sensore o ad un problema nel processo e se tale anomalia sia risolvibile senza interrompere la produzione; tutto ciò rientra nella sfera di analisi del "Data Fusion".

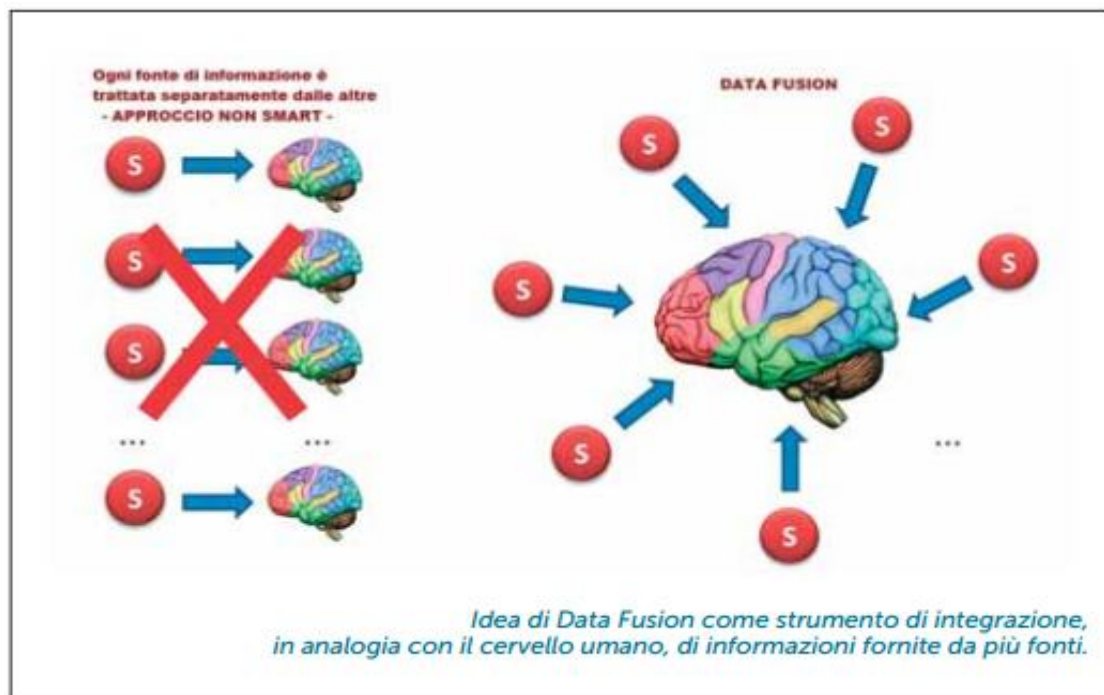


Immagine 4.1 Approccio SMART [MG]

Al fine di sviluppare ciò che potremmo definire "intelligenza" della macchina dobbiamo affidarci alla presenza di sensori che siano in grado di monitorare, per noi, tutto ciò che l'operatore umano eseguirebbe automaticamente; tali sensori creeranno una rete di rilevazione dati tali da permettere, ad un sistema integrato, di monitorare la macchina ed adeguarla allo stato della lavorazione mantenendo alto il livello qualitativo del prodotto e permettendo, all'operatore, di potersi liberare dal logorante lavoro ripetitivo della catena produttiva.

Tale sistema di sensori permetterà al sistema di intervenire sulla macchina al fine di monitorare lo stato di "salute" della stessa riducendo i rischi di danneggiamento ed usura del sistema sempre al fine del contenimento dei costi massimizzando la

produttività dell'impianto.

Un settore estremamente interessante di applicazione del “*Data Fusion*” è quello relativo alla manutenzione predittiva ossia la manutenzione legata al verificarsi di determinate condizioni previste in fase di progetto o presentarsi durante il processo.

Uno dei punti da cui muovere per parlare di analisi dati e conseguente avviso di richiesta di manutenzione richiede la capacità del “*Data Fusion*” di analizzare i dati provenienti dai più disparati sensori isolando quelli guasti o non attendibili per cui lo sviluppo di modelli decisionali basati su un unico sensore, pur altamente specializzato, porterà a risultati poco affidabili. [MG]

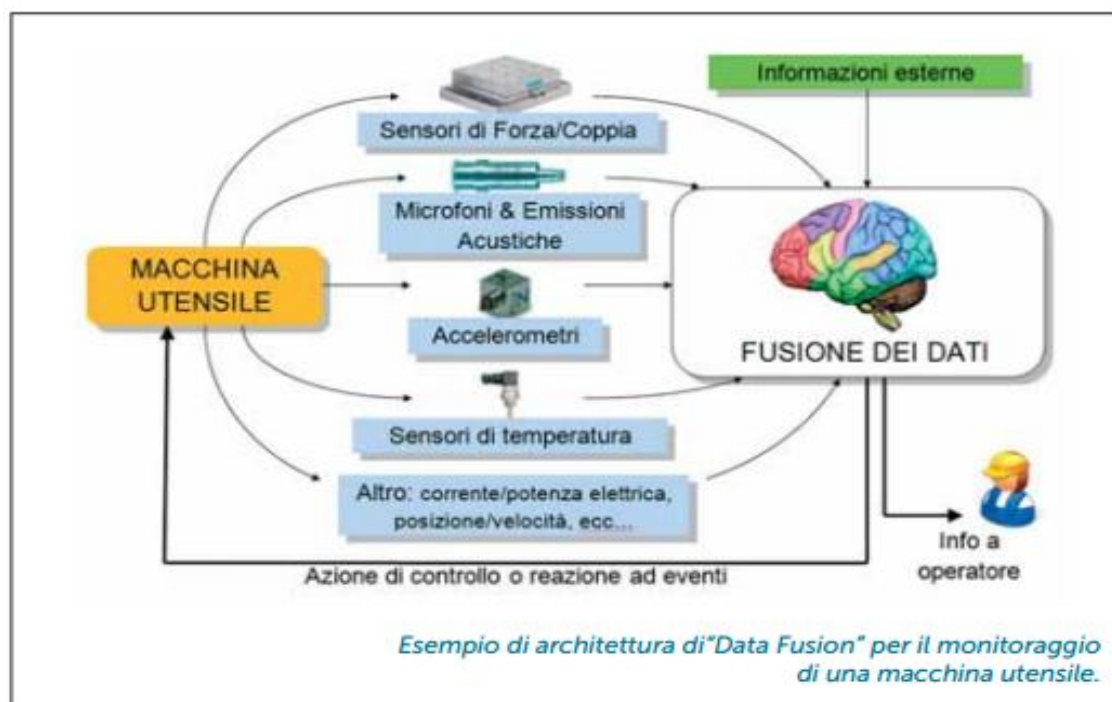


Immagine 4.2 Architettura Data Fusion per il monitoraggio [MG]

4.2 Data Fusion e Smart City

Un nuovo grande progetto che si basa su sistema di acquisizione dati da una moltitudine di sensori e salvataggio su di un *Database* è il progetto *Smart City*[ENEA] che si basa su un sistema SCADA (*Supervisor Control and Data Acquisition*).

Un sistema SCADA è in grado di monitorare e controllare grandi sistemi

Capitolo 4 Applicazioni

industriali e grandi infrastrutture, dislocate in maniera geografica, basandosi sulla acquisizione di grandi volumi di dati salvati in *Database* a cui il sistema accede per permettere ai vari moduli, costituenti la piattaforma, di gestire specifici servizi quali l'illuminazione pubblica (modulo *Lighting*), il consumo energetico degli edifici (modulo *Building*) e l'infomobilità (modulo *Mobility*); tale sistema SCADA è stato progettato con una struttura generalizzata in modo da poter essere estendibile a seguito di interfacciamento di vari tipi di sensori.

Il fatto che tale sistema sia basato principalmente su di un *Database* in grado di immagazzinare una eterogeneità di dati ha posto l'accento sulle possibili funzionalità aggiuntive che deriverebbero dall'aggiunta delle capacità predittive e decisionali di un sistema di *Data Fusion* che sarebbe in grado di sintetizzare l'enorme quantità di dati gestita dal sistema SCADA.

La particolarità dei moduli presenti nel sistema SCADA è che ognuno lavori in maniera indipendente dagli altri in modo da poter svolgere le proprie funzionalità senza influenzare le funzionalità degli altri, ciò comporta che possano svolgere compiti delicati e specifici senza pericolo di interazioni.

Ovviamente esiste un controllo degli allarmi che monitora, ciclicamente, se i valori dei sensori deputati siano entro le soglie specificate.

Riassumendo il progetto è stato suddiviso in due sezioni: una dedicata alla comunicazione dei dati ed al controllo degli allarmi, l'altra dedicata all'interfacciamento web ed alla fornitura di servizi tramite tale piattaforma. Appare evidente da quanto sopra la distinzione di tali sezioni e le possibilità che si possono aprire con l'introduzione di un sistema predittivo basato su "*Data Fusion*". [ENEA]

4.2.1 Architettura generale Smart City

Il progetto *Smart City* si basa su di una struttura suddivisa in quattro livelli logici illustrati nella Immagine 3:

- *Presentation Layer*
- *Application Layer*

Capitolo 4 Applicazioni

- *Data Layer*
- *Sensor-Actuator Layer*

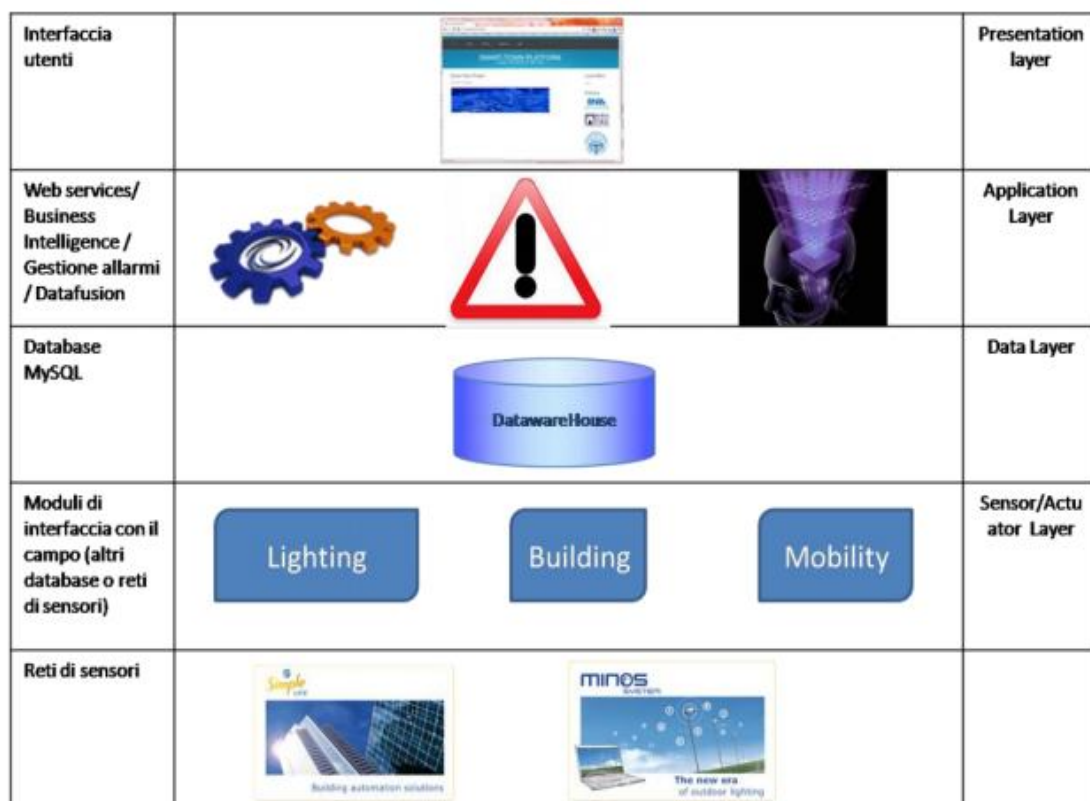


Immagine 4.3

Visualizzazione dei diversi strati che compongono la piattaforma Smart City [ENEA]

Il *presentation layer* è l'interfaccia utente consultabile via web in cui vengono presentati i dati presenti nel database ed i valori statici ottenuti dai vari sensori monitorati

L'*application layer* è il livello logico in cui troviamo la parte relativa ai processi di *business intelligence* ovvero la parte propria in cui opera il sistema di “*Data Fusion*”; raccolta e analisi delle informazioni provenienti dai vari sensori con il conseguente controllo degli allarmi, la creazione dell'interfaccia operatore per la visualizzazione delle eventuali criticità del sistema.

Il *data layer* è il livello logico relativo all'immagazzinamento dei dati, ovvero la gestione del *database* in cui convergono tutti i dati dei sensori dislocati a livello geografico.

Il *sensor layer* è il livello logico contenente i moduli di interfacciamento con i sensori, ogni modulo si interfaccia separatamente con una categoria precisa di sensori

svolgendo l'attività di ricezione ed attuazione del sensore.

Il processo di “*Data Fusion*” potrebbe estrapolare appositi aggregati di dati dal *database* al fine di operare una elaborazione finalizzata alla diagnosi, monitoraggio e controllo della situazione energetica degli immobili attuando delle scelte energetiche dettate dalle esigenze e dalle problematiche che potrebbero venirsi a presentare.

La mole di dati che perviene dai multisensori sarebbe impossibile da monitorare da parte di un eventuale supervisore ma i risultati ottenuti mediante un processo decisionale basato su “*Data Fusion*” permetterebbe il superamento di criticità ed il relativo intervento su basi previsionali predeterminate. [ENEA]

4.3 Robotica

La robotica è la disciplina dell'ingegneria che studia e sviluppa metodi che permettano, ad un robot, di eseguire dei compiti specifici riproducendo il lavoro umano.

Anche se la robotica è una branca dell'ingegneria, più precisamente della mecatronica, in essa confluiscono approcci di molte discipline oltre alla, ovvia, scientifica: biologia, fisiologia, automazione, elettronica, fisica, informatica, matematica e meccanica.

Le origini della parola robotica provengono dal ceco *robota*, dove ha il significato di "lavoro pesante" o "lavoro forzato".

Questo termine è stato introdotto dallo scrittore ceco Karel Čapek, nel 1920 nel suo racconto *R.U.R.* (Rossum's Universal Robots).

Il termine inglese derivato *robotics*, secondo l'Oxford English Dictionary, compare per la prima volta in un racconto di fantascienza dello scrittore Isaac Asimov intitolato Bugiardo! (*Liar!*, 1941) sempre ad Asimov si deve anche l'invenzione delle famose Tre Leggi della Robotica enunciate interamente nel racconto Circolo vizioso (*Runaround*, 1942); entrambi i racconti fanno parte dell'antologia Io, Robot. [GA] [BSLSLVGO][BSOK]

4.3.1 Progettazione

La realizzazione di un qualsiasi compito da parte di un robot è subordinata all'esecuzione di un movimento specifico che necessita di essere pianificato.

L'esecuzione corretta di tale movimento è affidata ad un'unità di controllo che comanda il sistema robotico costituito da una struttura meccanica articolata per cui è fondamentale schematizzarne il comportamento mediante un modello matematico che individui i legami di causa-effetto tra gli organi costituenti.

Per ottenere quanto voluto occorre percorrere due fondamentali passi :

- Analisi Cinematica: ossia la descrizione del moto del robot a prescindere dalle considerazioni sulle forze che agiscono durante il moto
- Analisi Dinamica: ossia l'analisi necessaria alla progettazione del sistema di controllo

L'Analisi cinematica la possiamo suddividere in due ulteriori sezioni: la cinematica e la cinematica differenziale; la prima si occupa del legame tra i parametri interni del robot e della posizione assunta nello spazio, la seconda si occupa dei parametri relativi alla velocità delle componenti del sistema.

Tutti i dati vengono ricavati da serie di sensori che permettono di parametrizzare il movimento del robot ed inviare la potenza necessaria ai compiti da svolgere.

In questo ambito è evidente la necessità di un sistema estremamente efficiente di “*Data Fusion*” in quanto il sistema deve porre in campo una quantità enorme di decisioni che coinvolgono la pianificazione delle traiettorie e la stessa pianificazione ma relativamente ai movimenti inversi per poter riottenere il ritorno del robot dopo il movimento, il posizionamento allo stato iniziale per poter dare origine ad un moto certo posizionato nello spazio senza che avvengano collisioni con gli oggetti circostanti, il controllo dello stato di salute del robot e degli effetti dinamici impreveduti dovuti agli attriti ed agli accoppiamenti tra i componenti.

Affinché il robot possa monitorare istante per istante di quanto il suo comportamento si scosti da quello pianificato, deve essere dotato di sensori in grado di

Capitolo 4 Applicazioni

misurare grandezze quali posizione, velocità, forze scambiate con l'ambiente.

I sensori si dividono in due grandi categorie:

1. Sensori propriocettivi: misurano variabili interne al robot (ad esempio la velocità delle ruote o il livello di alimentazione della batteria).
2. Sensori esterolettivi: misurano quantità esterne, come la distanza dagli ostacoli o la posizione degli oggetti sui quali svolgere un compito.

Gli *encoder* sono sensori propriocettivi in grado di analizzare la posizione angolare del robot.

Rivestono un ruolo essenziale nell'ambito della robotica industriale, ne esistono due tipologie.

- L'*encoder assoluto* è un disco di vetro ottico sul quale sono presenti delle tracce concentriche. Ciascuna traccia è caratterizzata da una sequenza di settori opachi e trasparenti. Sulla base dell'alternanza di tali settori, sfruttando un raggio di luce captato da un fototransistor, è possibile individuare, in forma digitale, lo spostamento angolare dei giunti.
- L'*encoder incrementale* riporta due tracce i cui settori opachi e trasparenti sono a 90° tra loro. Consente di ricavare, oltre alla posizione angolare, anche il verso della rotazione effettuata.

Come riportato precedentemente occorre definire la posizione nello spazio relativamente agli oggetti che circondano il robot od il braccio meccanico, tali sensori sono i *sonar*.

Basandosi sulla propagazione della velocità del suono è possibile calcolare la distanza dell'oggetto dall'ostacolo.

Nelle applicazioni industriali viene associato a molteplici altri sensori mentre in settori di robotica sottomarina ed in ambienti a scarsa visibilità sono, spesso, l'unica soluzione attuabile.

Un altro strumento utile al robot per orientarsi nell'ambiente in cui opera è la telecamera, essa sfrutta l'intensità luminosa riflessa dagli oggetti per ricostruirne l'aspetto.

Conoscendo i parametri caratteristici della lente è possibile risalire dalla rappresentazione dell'oggetto nel piano immagine alle sue dimensioni reali e alla sua distanza.

Spesso i robot impiegano un sistema di telecamere multiplo che consente di valutare la profondità dell'ambiente utilizzando la visione tridimensionale.

L'unità di controllo di un sistema robotico ha il compito di gestire le operazioni che devono essere effettuate sulla base di un modello interno del robot e dei dati forniti dai sensori.

Il processo di “*Data Fusion*” è un elemento fondamentale nel processo di sviluppo e analisi delle attività del robot il quale si basa sul compendio dei dati provenienti dalla serie di sensori dislocati nei punti nevralgici della macchina in modo tale da permettere al sistema di analizzare e definire se i valori rispondano a quanto definito in fase di progetto.

E' evidente che i dati ottenuti da sensori di varia specie vadano rivalutati alla luce della conversione in una tabella coerente ed omogenea necessaria al fine di poter muovere nello spazio il robot ed ottenere la precisione del processo preordinato prevedendo anche anomalie o danneggiamenti.

Gli approcci principali alla programmazione di un robot sono tre:

Vi sono tre approcci principali alla programmazione di un robot.

- *Teaching-by-showing*: il robot viene guidato lungo un percorso e apprende le posizioni raggiunte grazie ai sensori; in seguito, si limita a replicare quella sequenza di posizioni;
- *Robot-oriented*: vi è un linguaggio di programmazione ad alto livello con strutture dati complesse, variabili, routine;
- *Object-oriented*: come sopra, solo che il linguaggio è orientato agli oggetti.[GA][BSLSLVGO][BSOK]

4.3.2 Chirurgia Robotica

La **chirurgia robotica** (*Robotic Assisted Surgery*) consente all'operatore di praticare un intervento chirurgico manovrando, a distanza, un robot non completamente autonomo ma capace di eseguire manovre comandate.

Rispetto alla chirurgia video assistita tradizionale presenta alcune differenze importanti, il chirurgo è distante fisicamente dal campo operatorio e siede ad una console, dotata di un monitor, dalla quale, attraverso un sistema complesso, comanda il movimento dei bracci robotici, a questi vengono fissati i vari ferri chirurgici, pinze, forbici, dissectori, che un'equipe presente al tavolo operatorio provvede ad introdurre nella cavità sede dell'intervento.

L'impiego dei bracci meccanici ha il vantaggio di consentire una visione tridimensionale con un'immagine più ferma, e di rendere le manovre più delicate e fini anche perché gli strumenti sono articolati all'estremità distale, lo svantaggio è legato ai tempi operatori più lunghi, ed alla difficoltà di dosare la forza (come può accadere nel dare la giusta tensione ad un nodo chirurgico).

Se si pensa che oggi, dai centri spaziali, è possibile azionare dei robot inviati sulla luna o più lontano, non è difficile credere che diventerà usuale operare da una parte all'altra della terra mettendo a disposizione di tutti le migliori e più specifiche professionalità.

A Grosseto (centro di eccellenza), esiste una scuola di chirurgia robotica fondata dal Prof. Pier Cristoforo Giulianotti, nella quale si formano i chirurghi generali, gli urologi e i ginecologi provenienti dal territorio nazionale ed internazionale.

Il primo robot chirurgico, chiamato **da Vinci**, fu messo a punto nella *Silicon Valley* dalla *Intuitive Surgical*, e nel 2000 ha ottenuto l'autorizzazione dell'americana *Food and Drug Administration* (FDA) per l'utilizzo in chirurgia laparoscopica.

All'inizio del 2008, secondo i dati della *Intuitive Surgical*, i sistemi "da Vinci" operanti nel mondo erano più di 700 e gli interventi nell'ordine di decine di migliaia.

[IS][SdV]

4.4 Meteorologia

La **meteorologia** è la branca delle scienze dell'atmosfera che studia i fenomeni fisici che avvengono nell'atmosfera terrestre (troposfera) e responsabili del tempo atmosferico.

Lo studio dell'atmosfera è lo studio dei suoi parametri fondamentali e delle leggi fisiche o processi che intercorrono tra essi: temperatura dell'aria, umidità atmosferica, pressione atmosferica, radiazione solare, vento; è uno studio sia *sperimentale*, che fa largo uso di osservazioni e misurazioni dirette e indirette a mezzo di stazioni meteorologiche, sonde, razzi, palloni e satelliti meteorologici equipaggiati della necessaria strumentazione, sia *teorico*, facente cioè uso dell'astrazione propria del linguaggio della fisica matematica per la quantificazione delle leggi fisiche appartenenti alla fisica dell'atmosfera.

I due approcci confluiscono nel risultato finale ovvero l'ideazione, l'implementazione e l'inizializzazione di modelli matematici in grado di ottenere una previsione o prognosi a breve scadenza dei vari fenomeni atmosferici (nubi, perturbazioni, vento, precipitazioni tramite i cosiddetti modelli meteorologici) su un dato territorio (*previsione del tempo*).

Le previsioni meteorologiche si ottengono solitamente dalla seguente procedura:

- Osservazione e misurazione delle variabili atmosferiche (es. velocità e direzione del vento, temperatura dell'aria, umidità, pressione)
- Trascrizione, studio ed elaborazione dei dati rilevati su carte sinottiche o assimilando i dati attraverso modelli matematici che girano su calcolatori numerici.

In quest'ultimo caso viene prodotta la situazione meteorologica di un determinato momento, chiamata analisi.

- Prognosi futura a partire dalle carte sinottiche oppure facendo evolvere la condizione iniziale tramite uso dei modelli matematici meteorologici (previsione).

Capitolo 4 Applicazioni

Le attuali previsioni meteorologiche nascono solo dopo l'osservazione e la raccolta di dati sulle condizioni atmosferiche attuali. Questi dati e osservazioni sono il risultato di misurazioni dei parametri atmosferici da parte di strumenti appositi come:

1. barometri (per la misurazione della pressione atmosferica)
2. termometri (per la misurazione della temperatura)
3. igrometri (per la misurazione dell'umidità)
4. termoigrometri (per la registrazione della temperatura e dell'umidità)
5. pluviometri (per la misurazione delle quantità di pioggia)
6. nivometri (per la misurazione dell'accumulo di neve al suolo)
7. anemometri (per la misurazione della forza e della direzione dei venti)
8. radiosondaggi (mediante palloni sonda)
9. boe galleggianti e navi meteorologiche (per l'osservazione delle condizioni meteorologiche in mare aperto)
10. satelliti meteorologici, cioè satelliti che ruotano attorno alla terra per inviare al suolo immagini del movimento delle nubi e le mappe della temperatura. I satelliti si dividono in geostazionari e a orbita polare. Si possono visualizzare le immagini dei satelliti su molti siti web.

I seguenti strumenti sono stati approvati dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale e vengono utilizzati in ogni stazione meteorologica mondiale:

- Termometro a mercurio
- Termometri di minima e di massima
- Termoigrometro
- Anemometro
- Anemografo
- Barometro
- Barografo
- Pluviografo
- Radiometro
- Psicrometro

Nelle stazioni meteo i dati ricevuti vengono trascritti sulle carte meteorologiche

Capitolo 4 Applicazioni

mediante simboli convenzionali, e si confrontano e studiano i dati ricevuti dalle diverse stazioni meteorologiche. Per poter leggere una carta del tempo bisogna conoscere:

- isobare, cioè linee ideali che uniscono punti di stessa pressione atmosferica; esse sono importanti per stabilire le zone di alte o di basse pressioni sul globo terrestre;
- Fronti, cioè le superfici di contatto, e pertanto di discontinuità, tra due masse d'aria aventi caratteristiche, ovvero temperatura, pressione e umidità differenti. Questi si dividono in due tipi:
 - *fronti caldi*, quando una massa d'aria più calda (quindi anche più umida) si avvicina a una più fredda.
 - *fronti freddi*, quando una massa d'aria fredda (quindi meno umida ma più densa) si avvicina a una massa più calda e pertanto più leggera e più umida.

Questa fase di analisi consente di analizzare lo stato iniziale (attuale) dell'atmosfera (situazione) e fino all'avvento dei modelli matematici e dei supercalcolatori costituiva di fatto il primo passo verso il tracciamento delle carte meteorologiche e la successiva fase di previsione o prognosi futura attraverso le conoscenze empiriche accumulate dal meteorologo sulla dinamica dell'atmosfera. Con l'avvento di modelli matematici e supercalcolatori questa fase consiste principalmente nell'adattamento dei dati rilevati, spazialmente non omogenei, ai punti del grigliato atmosferico relativo al modello tramite tecniche di interpolazione ed estrapolazione che minimizzino in qualche modo gli inevitabili errori di approssimazione.

A partire dagli input dei dati iniziali, di cui sopra, i modelli meteorologici calcolano l'evoluzione dello stato futuro dell'atmosfera rispetto ai parametri o incognite del set di equazioni fondamentali.

Tali modelli, irrisolvibili analiticamente, vengono risolti numericamente al calcolatore e si parla dunque di modelli numerici di previsione meteorologica, a causa della natura intrinsecamente caotica dell'atmosfera il limite temporale di una previsione affidabile, ovvero non affetta da errori significativi, tramite modelli si aggira intorno ai 7-15 giorni.

L'uso dei modelli fisico-matematici sempre più raffinati e affidabili ha aiutato, di molto, il lavoro del meteorologo, il cui compito rimane quello di interpretare

Capitolo 4 Applicazioni

correttamente e adattare la previsione (*output*) dei modelli, sulla scorta delle proprie conoscenze empiriche acquisite, alle situazioni particolari che si verificano su un dato territorio per il quale i modelli risultano ancora piuttosto approssimativi compiendo errori significativi (es. stima della nuvolosità, della precipitazione ecc.).

Si distingue tra modelli *a scala emisferica* adatti per previsioni continentali e/o globali e modelli *a scala locale o area limitata* (LAM) per previsioni regionali, ottenuti a partire da procedure di *downscaling* a partire dai modelli globali.

Spesso l'occhio del meteorologo riesce a leggere l'evoluzione futura della circolazione atmosferica a grandi linee, ovvero a scala sinottica, al di là del *range* operativo dei modelli stessi che attualmente raggiunge i 7-15 giorni, grazie a conoscenze legate, ad esempio, alle teleconnessioni atmosferiche o ancora una volta al *metodo delle analogie*; esempi di modelli meteorologici sono il RAMs, il BOLAM, il DALAM, l'MM5 ecc.

Negli ultimi anni si sono sviluppate e affinate nuove e più efficaci tecniche di previsione tramite modelli, dette previsioni di insieme o di *ensemble*, le quali consentono di ridurre l'incertezza intrinseca della previsione, dovuta alla sensibilità alle condizioni iniziali del modello, operando una media degli output (*run*) del modello stesso a partire da condizioni iniziali diverse comprese all'interno dei loro limiti di approssimazione e/o troncamento. Allo stesso modo è stato possibile ottenere delle previsioni ancora più accurate, dette *Multimodel ensemble*, riducendo l'incertezza intrinseca dei vari modelli (dovuta ai diversi metodi di risoluzione numerica e alle diverse parametrizzazioni dei processi) attraverso la media delle corse (*run*) dei vari modelli pesate con la probabilità di successo riscontrata dei modelli stessi.[AN]

4.5 Militari

Il Dipartimento della Difesa (DoD, *Department of Defense*) si focalizza su problemi che coinvolgono la locazione, caratterizzazione, e identificazione di entità dinamiche come emettitori, piattaforme, armi, e unità militari.

Questi dati dinamici sono spesso archiviati in database come situazione del

Capitolo 4 Applicazioni

campo di battaglia oppure vengono visualizzati su *display* (sovrapposta ad una visualizzazione della mappa del campo di battaglia).

Successivamente alla creazione del database sulla situazione del campo di battaglia, gli *user* del DoD cercano di dedurre la situazione del nemico attraverso le relazioni tra unità nemiche e l'ambiente e le organizzazioni nemiche.

Esempi di applicazioni militari sono la sorveglianza oceanica, difesa aria-aria, *battlefield intelligence*, sorveglianza e acquisizione di *target*, allerta e difesa strategica.

Ognuna di queste applicazioni militari coinvolge una particolare attenzione all'assortimento dei sensori disponibili, a un *set* di deduzioni o conclusioni, ed ad un unico *set* di sfide, come si può vedere dalla tabella 1.

La sorveglianza oceanica ha come obiettivo di individuare, tenere traccia delle azioni svolte, e identificare *target* ed eventi sottomarini.

Ad esempio, sistemi di difesa sottomarina per supportare le operazioni tattiche delle flotte della marina e sistemi automatici per guidare veicoli autonomi.

L'assortimento dei sensori può includere radar, sonar, *electronic intelligence* (ELINT), osservazione e analisi delle comunicazioni, infrarossi, e osservazioni con *synthetic aperture radar* (SAR).

La sorveglianza oceanica può coprire centinaia di miglia nautiche e focalizzarsi su *target* aerei, sulla superficie, e sottomarini.

Molteplici piattaforme di sorveglianza possono essere coinvolte e si possono tenere traccia di numerosi *target*.

Le difficoltà delle sorveglianze oceaniche riguardano il grande volume di sorveglianze svolte, la combinazione dei *target* e dei sensori, e la complessità della propagazione nell'ambiente dei segnali, specialmente per le scansioni subacquee.

Un esempio di sistema di sorveglianza oceanica è illustrato nell'immagine 5.

Capitolo 4 Applicazioni

Representative Data Fusion Applications for Defense Systems

Specific Applications	Inferences Sought by Data Fusion Process	Primary Observable Data	Surveillance Volume	Sensor Platforms
Ocean surveillance	Detection, tracking, identification of targets and events	Expectation maximization (EM) signals, acoustic signals, nuclear-related, derived observations	Hundreds of nautical miles, air/surface/subsurface	Ships, aircraft, submarines, ground-based, ocean-based
Air-to-air and surface-to-air defense	Detection, tracking, identification of aircraft	EM radiation	Hundreds of miles (strategic), miles (tactical)	Ground-based, aircraft
Battlefield intelligence, surveillance, and target acquisition	Detection and identification of potential ground targets	EM radiation	Tens of hundreds of miles about a battlefield	Ground-based, aircraft
Strategic warning and defense	Detection of indications of impending strategic actions, detection and tracking of ballistic missiles and warheads	EM radiation, nuclear-related	Global	Satellites, aircraft

Tabella 4.1 [HMD]

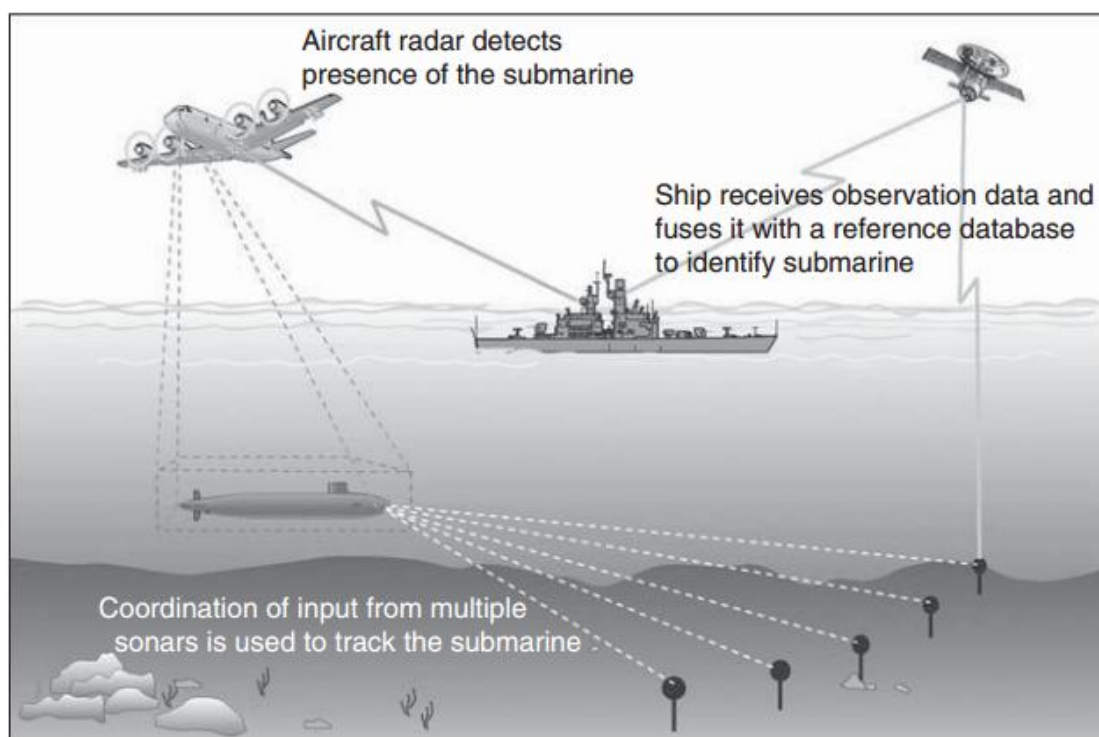


Immagine 4.4 Esempio di sistema di sorveglianza oceanica [HMD]

Aria-aria e terra-aria sistemi di difesa sono stati sviluppati dai militari per individuare, tracciare e identificare aeromobili e armi antiaeree e sensori.

Questi sistemi di difesa utilizzano sensori come radar, *passive electronic support*

measures (ESM), sensori *infrared identification-friend-foe* (IFF), sensori di immagine elettroottici, e gli avvistamenti visivi umani.

Le sfide per questi sistemi di fusione dati comprendono contromisure nemiche, la necessità di un rapido processo decisionale e, potenzialmente, grandi combinazioni di abbinamenti *target*-sensore.

Infine nelle battaglie sulla terra ferma, la *battlefield intelligence*, sorveglianza e sistemi di acquisizione di *target* tentano di identificare potenziali *target*, un esempio è la localizzazione di mine.[HMD]

4.5.1 SIGINT

SIGINT, abbreviazione delle parole inglesi SIGnals INTelligence (Spionaggio di segnali elettromagnetici), è l'attività di raccolta di informazioni mediante l'intercettazione e analisi di segnali, sia emessi tra persone (ad esempio comunicazioni radio) sia tra macchine (è il caso dell'ELINT, lo spionaggio di segnali elettronici) oppure una combinazione delle due. Dal momento che molte comunicazioni riservate sono criptate le operazioni di SIGINT spesso si avvalgono di strumenti di crittoanalisi.

In ogni caso l'analisi del traffico di comunicazioni, chi trasmette e da dove, spesso produce informazioni utili anche se il contenuto del messaggio non risulta comprensibile, i sistemi di fusione dati non possono utilizzare tali informazioni per le proprie attività.

L'intercettazione e decifrazione di comunicazioni scritte verosimilmente si è diffuso subito dopo l'invenzione della scrittura.

Uno dei primi metodi di cifratura è il famoso cifrario di Cesare.

L'intercettazione di comunicazioni elettroniche iniziò all'inizio del Novecento durante la seconda guerra boera nella quale i boeri catturarono delle radio britanniche e, dal momento che gli inglesi erano gli unici a trasmettere, poterono ascoltare le loro comunicazioni.

Negli Stati Uniti e nelle nazioni aderenti alla NATO il SIGINT è definito come "Informazioni ottenute tramite l'analisi di comunicazioni, segnali e strumentazioni

straniere."

La definizione del Dipartimento della Difesa statunitense enfatizza molto i "segnali provenienti da strumentazioni" anche se questo sarebbe da considerarsi più propriamente MASINT ovvero Measurement and Signature Intelligence.

Dal momento che il SIGINT è un campo molto vasto esso si articola in diverse sotto discipline. Le due principali sono il COMINT ovvero COMunication INTelligence e il ELINT ovvero ELectronic INTelligence.[UDD]

4.5.2 COMINT e ELINT

COMINT, acronimo in lingua inglese per Communications Intelligence, è una sotto categoria del SIGINT che tratta le intercettazioni di comunicazioni vocali o testuali estranee.

I Joint Chiefs of Staff degli Stati Uniti d'America definiscono il COMINT come "Le informazioni tecniche e di intelligence ottenute da comunicazioni straniere [ricevute] da altri che non siano i destinatari principali."

Il COMINT, che in sostanza è comunicazione fra persone, permette di rivelare le seguenti informazioni:

- Chi sta trasmettendo o dove si trova, se la fonte della trasmissione si sta spostando si avrà una serie di localizzazioni invece di una sola.
- Se conosciuta, la funzione di colui che trasmette all'interno dell'organizzazione di appartenenza.
- Il tempo e la durata della comunicazione ed il programma se si tratta di una serie pianificata di comunicazioni.
- Se la trasmissione è criptata o meno e se si può forzare la decriptazione. Inoltre se si intercetta un messaggio in chiaro, o se si decripta un messaggio cifrato, si può ottenere la lingua con la quale il messaggio viene trasmesso.
- L'indirizzo, se il messaggio non è una trasmissione generale ed è possibile ottenere l'indirizzo dal messaggio.

Questo caso potrebbe essere anche un caso di ELINT ad esempio nel caso di un

Capitolo 4 Applicazioni

segnalatore di posizione.

Tali informazioni applicate ai sistemi di fusione dati non hanno dato finora alcun risultato valido e dimostrabile.

ELINT è un acronimo per *ELectronic Signals INTelligence* ("spionaggio di segnali elettronici") ed è riferito alla raccolta di informazioni effettuata utilizzando sensori elettronici.

La ELINT è una delle specializzazioni della SIGINT ("*signal intelligence*") insieme con la COMINT. Si distingue da quest'ultima, perché la ELINT si focalizza sullo spionaggio dei segnali diversi da quelli utilizzati per le comunicazioni. ELINT e COMINT sono stati utilizzati in passato in progetti riguardanti sistemi di Fusione Dati, ma i risultati non sono stati positivi.

Una parte importante delle attività concerne la raccolta di dati relativi ai sistemi di difesa aerea o di intercettazione.

Lo studio si occupa in particolare delle emissioni dei vari tipi di radar, quali quelli per la difesa aerea, guida missili, imbarcati su aerei o navi, di ricerca, puntamento o scoperta.

Le intercettazioni possono essere effettuate da stazioni poste a terra nella prossimità dei confini dell'avversario, da navi o aerei specificamente attrezzati o da satelliti artificiali.

Lo scopo principale delle attività ELINT è quello di acquisire dati utili in caso di conflitto, individuando la esatta posizione delle batterie di missili o artiglieria antiaerea. Conoscendo le caratteristiche e posizioni di questi sistemi, i pianificatori di missioni d'attacco possono tracciare percorsi per gli aerei che evitino le zone più difese.

Nel contempo, è possibile per il gruppo di aerei attaccanti dotarsi delle contromisure elettroniche o dei sistemi di jamming più adatti.

Le ELINT si occupano anche di individuare elettronicamente la posizione di navi, strutture di comando e controllo, sistemi antiaerei e altri sistemi d'arma nemici, con lo scopo di pianificarne la distruzione in caso di conflitto.

Lo spionaggio elettronico è importante anche per il corretto svolgimento delle missioni stealth, infatti, gli aerei stealth non sono completamente invisibili ai radar e necessitano di conoscere quali aree evitare. Similmente, gli aerei convenzionali devono conoscere la posizione dei sistemi antiaerei per distruggerli o evitarli.

Capitolo 4 Applicazioni

La ELINT è considerata un'importante componente della rete di sensori che costituisce la moderna dottrina della guerra network-centrica.

Per alcune esigenze è necessaria la combinazione di ELINT più altre fonti di spionaggio, particolarmente quando si miri a comprendere il vero significato di emissioni che contengono informazioni in codice.

Il metodo di analisi differisce da quello usato nelle operazioni COMINT, in cui ci si focalizza sulle tecniche di crittografia per decrittare i messaggi cifrati, nel caso ELINT, ciò che è di interesse è l'identificazione del tipo di trasmissione per associare la posizione della sorgente.

Per esempio, durante la seconda battaglia dell'Atlantico, nel corso della Seconda Guerra Mondiale, le informazioni SIGINT Ultra non erano sempre disponibili, perché la centrale basata a *Bletchley Park* non era sempre in grado di decrittare il traffico proveniente dagli U-Boat e codificato con la macchina Enigma.

Malgrado ciò, il sistema *Huff-Duff* (*High Frequency Direction Finder*) era comunque in grado di individuare quantomeno le posizioni degli *U-Boat*, rilevando le trasmissioni ed effettuando delle triangolazioni con due o più sistemi *Huff-Duff*.

L'ammiragliato fu in grado di utilizzare queste informazioni per tracciare delle rotte per i convogli nell'Atlantico, in grado di mantenersi lontani dalle alte concentrazioni di sommergibili tedeschi.[DDS][CCEB]

4.6 Sistemi di riconoscimento biometrici

Un sistema di riconoscimento biometrico è un particolare tipo di sistema informatico che ha la funzionalità e lo scopo di identificare una persona sulla base di una o più caratteristiche biologiche e/o comportamentali (biometria), confrontandole con i dati, precedentemente acquisiti e presenti nel database del sistema, tramite degli algoritmi e di sensori di acquisizione dei dati in input.

In inglese è noto come AIDC= *Automatic Identification and Data Capture*.

Il primo metodo d'identificazione scientifico biometrico fu sviluppato nei laboratori del carcere di Parigi da Alphonse Bertillon (23 aprile 1853 - 13 febbraio

1914). Bertillon era figlio dello statistico Louis Bertillon e fratello del demografo - statistico Jacques.

Nel 1870 venne nominato fotografo di servizio presso la prefettura di Parigi: annotando tutte le caratteristiche fisiche dei detenuti, fonda così il primo laboratorio di polizia scientifica e d'identificazione dei criminali, inventa l'antropologia giudiziaria chiamata appunto Sistema Bertillon o Bertillonage un sistema di identificazione rapidamente adottato in tutta l'Europa continentale e in seguito anche a Londra.

Il suo metodo consisteva nella rilevazione delle misure fisiche dei detenuti in quanto l'ossatura umana non cambia più dopo il ventesimo anno d'età ed ogni scheletro è diverso per ciascun individuo; il nome del detenuto, le descrizioni e le misure fisiche del corpo di un individuo (cranio, lunghezza degli arti, lunghezza delle dita e dei piedi, lunghezza del naso, caratteristiche dell'orecchio) e una foto segnaletica, frontale e laterale dell'individuo a mezzo busto, venivano annotate su una scheda detta "Osservazioni Antropometriche".

L'archivio cresce molto velocemente, è così possibile riconoscere un soggetto nuovamente arrestato che presentava una falsa identità; il problema maggiore che si evidenziò era per le misure, dovevano essere effettuate con grande accuratezza, solo lo scopritore di questo sistema di classificazione era in grado di effettuare i rilievi con la dovuta precisione; Bertillon organizzò corsi di formazione per numerosi esponenti di polizie europee a Londra e Parigi, ma le misure prese da altri soggetti, pure addestrati erano imprecise e non così affidabili come quelle del francese.

La tecnica cadde gradualmente in disuso ma, nel frattempo, vi fu la scoperta dell'impronta digitale; diversi sono i nomi legati a questa invenzione anche se i due nomi più significativi sono quello di Galton e di sir Henry, che impostarono in modo sistematico la classificazione delle impronte digitali e che, all'inizio di questo secolo, contribuirono a dare alle impronte digitali il valore criminologico che oggi ricoprono.

In Italia questo metodo fu messo a punto da un funzionario di polizia, Giovanni Gasti.

Un'autentica rivoluzione nell'utilizzo delle impronte digitali, soprattutto a fini criminologici, si è avuta una dozzina di anni fa, quando la crescente potenza dei sistemi di elaborazione permise alla polizia americana di mettere a punto il primo sistema AFIS - *automatic fingerprint identification system*, solo grazie all'utilizzo di questo

Capitolo 4 Applicazioni

dispositivo informatico, collegato ad un capiente database, l'impronta digitale ha raggiunto l'attuale importanza criminologica.

La biometria permette di stabilire che ogni individuo ha caratteristiche:

Universali = tutti devono averla;

Uniche = due o più individui non possono avere la stessa uguale caratteristica;

Permanenti = questa non varia nel tempo;

Collezionabili = deve essere misurata quantitativamente.

Le caratteristiche prese in considerazione dal sistema di riconoscimento biometrico possono essere:

- Fisiologiche:
 1. impronte digitali,
 2. altezza,
 3. peso,
 4. colore e dimensione dell'iride,
 5. retina,
 6. sagoma della mano,
 7. palmo della mano,
 8. vascolarizzazione,
 9. forma dell'orecchio,
 10. fisionomia del volto.
- Comportamentali, ossia azioni che normalmente l'individuo compie:
 1. impronta vocale,
 2. calligrafia,
 3. firma,
 4. stile di battitura sulla tastiera,

movimenti del corpo.

Le caratteristiche fisiologiche di un individuo sono abbastanza stabili, soggette solo a piccole variazioni nel tempo, le componenti comportamentali invece possono essere influenzate dalla situazione psicologica dell'individuo, proprio per questo devono essere aggiornate spesso, questo sistema vuole garantire l'unicità della persona, infatti codici segreti e carte di identificazione verificano solo ciò che una persona conosce e/o possiede, come ad esempio una password o un codice pin od il badge ma non l'identità

della persona stessa.

Le applicazioni biometriche possono essere utilizzate da sole o integrate con altre tecnologie come ad esempio smart card, chiavi crittografiche, RFID e firma digitale.

I principali compiti dei sistemi biometrici sono:

1. *Reference template* = acquisizione mediante alcuni meccanismi (laser, scanner, telecamere, microfoni, ecc) dell'impronta biometrica di riferimento relativa ad una caratteristica biometrica e/o comportamentale dell'individuo.
2. Fase di autenticazione = avviene mediante il confronto tra l'impronta biometrica di riferimento e la nuova impronta, generata ogni volta in fase di verifica;
3. Interfaccia operativa = è l'interazione uomo-macchina, la connessione fisica, elettrica e la possibilità di comunicazione con il sistema.

Nella prima fase si crea l'impronta biometrica di riferimento attraverso la registrazione dell'utente, conosciuta anche come fase di *enrollment*.

Viene creato un *template* tramite l'acquisizione di una o più immagini o suoni relative all'individuo, queste caratteristiche vengono poi elaborate grazie ad un algoritmo che varia da sistema a sistema, il *template* viene quindi memorizzato nel sistema in modo tale da essere utilizzato come confronto durante la fase di autenticazione.

I sistemi biometrici possono operare in due diverse modalità: verifica e identificazione.

Il processo di verifica (*1 to 1 matching*, uno ad uno) si ha quando il soggetto dichiara la sua identità. Il sistema quindi effettua un confronto tra l'immagine rilevata in tempo reale e quella corrispondente del *template* presente nell'archivio.

L'identificazione (*1 to many matching*, verifica uno a molti) si ha quando l'immagine acquisita in tempo reale viene confrontata con tutte le immagini presenti nel database del sistema e viene poi associata a quella con le caratteristiche più simili.

Per aumentare la sicurezza del sistema di riconoscimento si possono utilizzare più tecniche biometriche grazie ai sistemi multi modali. Questi sistemi permettono un riconoscimento più preciso e diminuiscono il *failure-to-enroll rate*, ovvero il tasso di errore.

Capitolo 4 Applicazioni

Nell'identificazione infatti possiamo trovarci di fronte a due situazioni:

1. riconoscimento positivo si hanno due possibili situazioni: la persona è vera oppure è un impostore;
2. riconoscimento negativo il sistema o ha sbagliato dando un falso allarme oppure la persona è realmente un impostore.

Di conseguenza abbiamo due tipologie di errore:

- **FRR** (*False Rejection Rate*) è la percentuale di falsi rifiuti, utenti autorizzati ma respinti per errore, in pratica il sistema non riesce a riconoscere le persone autorizzate.
- **FAR** (*False Acceptance Rate*) è la percentuale di false accettazioni, utenti non autorizzati ma accettati per errore, il sistema quindi accetta le persone che non sono autorizzate.

Qualunque sistema biometrico permette di aumentare e diminuire la sensibilità, regolando il rapporto tra i falsi rifiuti e le false accettazioni.

Per comprendere meglio possiamo definire la variabile t come il grado di tolleranza del sistema.

Se questo grado è basso si ha un numero elevato di false accettazioni, con un grado alto invece si ha un numero elevato di falsi rifiuti.

Tramite le funzioni si può calcolare l'EER (*Equal Error Rate*)

$FAR(t^*) = FRR(t^*) = EER$ t^* rappresenta il punto di equilibrio del sistema attraverso il quale è possibile regolare il rapporto FRR/FAR.

Nelle applicazioni reali i valori di tolleranza si trovano al di sotto di t^* per garantire un numero ridotto di false accettazioni. [WJB][AIC][AIDC]

CONCLUSIONI

Dagli argomenti trattati si evince l'enorme utilizzo e l'indispensabilità in molti campi di operatività quotidiana dei sensori e del sistema di "*Data Fusion*" che permettono di creare delle piattaforme di gestione per ottimizzare le risorse e sfruttare, ad esempio, a pieno i sistemi robotizzati di produzione industriale.

Cercare di sintetizzare il significato di "*Data Fusion*" risulta estremamente complesso in quanto, con un semplice termine, si identificano competenze e strumenti provenienti da vari campi quali l'analisi statistica, la teoria dei controlli e dell'apprendimento automatico; il problema consiste nell'integrare segnali e flussi di dati provenienti da sistemi eterogenei che dovranno essere resi correlati ed interdipendenti.

Dai primi anni 60, quando si teorizzarono i primi concetti di "*Data Fusion*", fino al giorno d'oggi i sistemi di elaborazione di dati ed informazioni digitali si sono evoluti in maniera costante sfruttando la capacità degli odierni calcolatori ed ottenendo il risultato di poter essere applicati in molteplici campi che vanno dall'utilizzo in *device* intelligenti (smartphone, tablet, computer) alla *business intelligence* (teorie, metodologie ed architetture atte a manipolare, ottimizzandole, informazioni utilizzabili in campo business), dalla oceanografia (in campi quali la geologia marina - lo studio dei fondali marini e della tettonica a zolle e della oceanografia biologica - lo studio della fauna e della flora oceaniche) alla bioinformatica (fornire modelli matematici atti all'analisi delle sequenze del RNA e DNA e del sequenziamento del genoma), dai sistemi di trasporto intelligente (sistemi mirati ad offrire servizi innovativi relativi a nuove modalità nella gestione dei trasporti e del traffico) alla informatica chimica (uso delle tecniche informative in campo farmaceutico).

Sicuramente i campi di maggior interesse e sviluppo attuali e del prossimo futuro sono la robotica focalizzata su sistemi di manipolazione automaticamente controllati, riprogrammabili e multiscopo che si muovono sui tre assi nello spazio utilizzabili sia in produzione industriale che nelle applicazioni aerospaziali ed i sistemi di controllo e

Conclusioni

supervisione per la guida assistita di autoveicoli che spazia dal “*park assist*” ai sistemi di frenata automatica (Volvo) costituiti da tre impianti distinti: il “*city safety*” che frena l’auto fino alla velocità di 50km/h, il “*Pedestrian and Cyclist Detection*” che si incarica di fermare l’auto alla comparsa di un ciclista od un pedone entro il campo di analisi del sistema ed il “*Collision Warning*” che controlla la differenza di velocità tra due auto incolonnate al fine di evitare il tamponamento.

Tutto ciò apre scenari applicativi futuri per questi sistemi tendenti al miglioramento, alla ottimizzazione ed aumento dell’efficienza e della sicurezza di tutto ciò che riguarda l’acquisizione, l’elaborazione e lo sfruttamento di dati ed informazioni acquisite tramite sensori di tutto ciò che circonda l’essere umano e gli eventi ad esso relativi.

BIBLIOGRAFIA

- [CS] Cristian Secchi, Sensori e Trasduttori, 2014,
<http://www.Automazione.ingre.unimore.it/pages/corsi/materiale%20idattico/ITSC0607/ITSC10-Sensori.pdf>
- [JD] Jason Dowling, "Artificial human vision". Expert Review of Medical Devices 2(1), 2005. 13:73-85.
- [IET] http://www.iet.unipi.it/m.luise/com_ottiche/cap3Frm.html, 2014
- [AL] http://www.antonio.licciulli.unisalento.it/tesine2003/Piezoceramici_part3.pdf, 2014
- [WKA] <http://it.wikipedia.org/wiki/Accelerometro>, 2014
- [GP] Giuseppe la Paglia, Calibratori multifunzione e multimetri numerali di precisione: l'impatto sui laboratori di taratura,
<http://www.affidabilita.eu/tuttomisure/articolo.aspx?idArt=495>, 2014
- [DF] <http://www.df.unipi.it/~bettarin/TecDigIII/Analog&DigitalTester.pdf>, 2014
- [WKM] <http://it.wikipedia.org/wiki/Magnetometro>. 2014
- [WKR] <http://it.wikipedia.org/wiki/Radar>, 2014
- [WKV] <http://it.wikipedia.org/wiki/Velocimetro>, 2014
- [WKT] <http://it.wikipedia.org/wiki/Tachimetro>, 2014
- [WKPIR] http://it.wikipedia.org/wiki/Sensore_a_infrarossi_passivo, 2014
- [WKG] <http://it.wikipedia.org/wiki/Giroscopio>, 2014
- [WKO] http://it.wikipedia.org/wiki/Orizzonte_artificiale, 2014
- [WKGL] http://it.wikipedia.org/wiki/Giroscopio_laser, 2014
- [WKP] [http://it.wikipedia.org/wiki/Sensore_di_prossimità](http://it.wikipedia.org/wiki/Sensore_di_prossimita), 2014
- [BO] "Biometrics: Overview". Biometrics.cse.msu.edu. 6 September 2007. Retrieved 2012-06-10.

Bibliografia

- [JAHLP] Jain, A., Hong, L., & Pankanti, S. (2000). "Biometric Identification". *Communications of the ACM*, 43(2), p. 91-98. DOI 10.1145/328236.328110
- [JAAKRA] Jain, Anil K.; Ross, Arun (2008). "Introduction to Biometrics". In Jain, AK; Flynn; Ross, A. *Handbook of Biometrics*. Springer. pp. 1–22. ISBN 978-0-387-71040-2.
- [BSA] "Biometrics for Secure Authentication" (PDF). Retrieved 2012-07-29.
- [Kalman] Kalman, R.E. (1960). "A new approach to linear filtering and prediction problems". *Journal of Basic Engineering* 82 (1): pp. 35–45
- [TB] Thomas Bayes (1763), *An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances*. By the late Rev. Mr. Bayes, F. R. S. communicated by Mr. Price, in a letter to John Canton, A. M. F. R. S., *Philosophical Transactions*, Giving Some Account of the Present Undertakings, Studies and Labours of the Ingenious in Many Considerable Parts of the World, 53:370–418.
- [SG] Shafer, Glenn; *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, 1976, ISBN 0-608-02508-9
- [DAP] Dempster, A. P. (1967). "Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping". *The Annals of Mathematical Statistics* **38** (2): 325–339. doi:10.1214/aoms/1177698950.
- [FT] Fine, Terrence L. (1977). "Review: Glenn Shafer, *A mathematical theory of evidence*". *Bull. Amer. Math. Soc.* **83** (4): 667–672.
- [KSSF] Kari Sentz and Scott Ferson (2002); *Combination of Evidence in Dempster–Shafer Theory*, Sandia National Laboratories SAND 2002-0835
- [JASP] Jøsang, A., and Simon, P. (2012). "Dempster's Rule as Seen by

Bibliografia

- Little Colored Balls". *Computational Intelligence* **28** (4): 453–474. doi:10.1111/j.1467-8640.2012.00421.x.
- [KJMPA] Kohlas, J., and Monney, P.A., 1995. *A Mathematical Theory of Hints. An Approach to the Dempster-Shafer Theory of Evidence*. Vol. 425 in Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer Verlag.
- [JAHR] Jøsang, A., and Hankin, R., 2012. *Interpretation and Fusion of Hyper Opinions in Subjective Logic*. 15th International Conference on Information Fusion (FUSION) 2012. E-ISBN 978-0-9824438-4-2, IEEE.
url=<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6289948>
- [JADJ] Jøsang, A., Diaz, J., and Rifqi, M. (2010). "Cumulative and averaging fusion of beliefs". *Information Fusion* **11** (2): 192–200. doi:10.1016/j.inffus.2009.05.005.
- [BK] Bart Kosko, *Il fuzzy-pensiero. Teoria e applicazioni della logica fuzzy*, Collana: *Tascabili Baldini & Castoldi, I nani. Vita matematica*; trad. di Agostino Lupoli, 4^a ed., Milano, Baldini & Castoldi, 2000, Pagg. 365. ISBN 88-8089-193-6.
- [GG] Gerla, Giangiacomo (1999). *Logica fuzzy e paradossi*. Lettera Matematica Pristem (32): Pagg. 31-39. ISSN: 1593-5884
- [MG] Marco Grasso, Tecnologie smart per la machina intelligente, n.4, l'ammonitore, 2012, 6-7
- [ENEA] Mauro Annunziato, S. Pizzuti, ENEA, L. Sciavicco, S. Panzieri, G. Ulivi, F. Pascucci, C. Foglietta, F. Moretti, P. Cicolin (Dipartimento di Informatica e Automazione –Università degli Studi ROMA TRE), Ricerca di sistema Elettrico, 2011
- [GA] Gianni Arduino, Renata Moggi, *Educazione tecnica*, 1^a ed., Lattes, 1990.

Bibliografia

- [BSLSLVGO] Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco, Luigi Villani, Giuseppe Oriolo, *Robotica Modellistica, pianificazione e controllo*, 3^a ed., McGrawHill, 2008.
- [BSOK] Bruno Siciliano e Oussama Khatib (a cura di), *Springer Handbook of Robotics*, Springer-Verlag, 2008. ISBN 978-3-540-23957-4.
- [IS] <http://www.intuitivesurgical.com/corporate/companyprofile/index.aspx> dal sito della Intuitive Surgical.
- [SdV] <http://www.davincisurgery.com/surgery/clinical/index.aspx> dal sito del sistema "da Vinci".
- [AN] Antonio Navarra, *Le previsioni del tempo*, Il Saggiatore, 1996.
- [AIC] Auto-ID Center. "The New Network". Retrieved 23 June 2011.
- [HMD] Martin E. Liggins, David L. Hall, James Llinas, *Handbook of Multisensor Data Fusion Theory and Practice Second Edition*, 2014
- [DHSAHM] D. Hall and S.A.H. McMullen, *Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion*, Artech House Inc., Boston, MA, 2004.
- [HWS] H.W. Sorenson, Least-squares estimation: From Gauss to Kalman, *IEEE Spectrum*, 7, 63–68, July 1970.
- [DLHAS] D.L. Hall and A. Steinberg, Dirty secrets in multisensor data fusion, *Proceedings of the National Symposium on Sensor Data Fusion (NSSDF)*, San Antonio, TX, June 2000.
- [JCS] JCS-Joint Publication 2-01. Joint and National Intelligence Support to Military Operations, Washington, DC, October 7, 2004
- [HJMSA] Hall, J.M., S.A. Hall and T. Tate, Removing the HCI Bottleneck: How the Human–Computer Interface (HCI) Affects the Performance of Data Fusion Systems, in D. Hall and J. Llinas (Eds.), *Handbook of Multisensor Data Fusion*, Chapter 19, pp. 1–

Bibliografia

- 12, CRC Press, Boca Raton, FL, 2001
- [CVVGAS] Cantoni, V., V. Di Gesu and A. Setti (Eds.), Human and Machine Perception: Information Fusion, Plenum Press/Kluwer, New York, 1997
- [AMRG] Abidi, M. and R. Gonzalez (Eds.), Data Fusion in Robotics and Machine Intelligence, pp. 560, Academic Press, Orlando, FL, 1992
- [BE] Blasch, E. Decision Making for Multi-Fiscal and Multi-Monetary Policy Measurements, Fusion98, Las Vegas, NV, pp. 285–292, July 6–9, 1998.
- [WEJL] Waltz, E. and J. Llinas, Data Fusion and Decision Support for Command and Control, Multisensor Data Fusion, Chapter 23, Artech House, Boston, MA, 1990
- [FWJEB] Fabian, W. Jr., and E. Blasch, Information Architecture for Actionable Information Production, (for Bridging Fusion and ISR Management), NSSDF 02, August 2002
- [BEPSP] Blasch, E.P. and S. Plano, JDL Level 5 Fusion Model: User Refinement Issues and Applications in Group Tracking, Proceedings of SPIE, Vol. 4729, Aerosense, 2002
- [GDDGJK] Gilson, D., D. Garland and J. Koonce, Situational Awareness in Complex Systems, Aviation Human Factors Series, Defense Technical Information Center, Dayton, OH, 1994.
- [EMR] Endsley, M.R. Toward a Theory of Situational Awareness in Dynamic Systems, Human Factors J., Vol. 37, pp. 32–64, 1996.
- [EMRDJG] Endsley, M.R. and D.J. Garland (Eds.), Situation Awareness Analysis and Measurement, Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ, 2000.
- [KGA] Klein, G.A. Recognition-Primed Decisions, in W.B. Rouse (Ed.), Advances in Man–Machine Systems Research, Vol. 5. JAI Press,

Bibliografia

- Greenwich, CT, pp. 47–92, 1989
- [DLH] D. L. Hall, Increasing operator capabilities through advances in visualization. In 3rd Annual Sensors Fusion Conference: Improving the Automation, Integration, Analysis and Distribution of Information to the Warfighter, Washington, DC, Nov. 29–Dec. 1, 2006.
- [UDD] US Department of Defense, *Joint Publication 1-02 Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms*, 12 luglio 2007.
- [DDS] "Technical information and intelligence derived from foreign communications by other than the intended recipients" Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti, *Joint Publication 1-02 Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms*, 12-07-2007,
- [CCEB] Combined Communications-Electronics Board (CCEB), *ACP 124(D) Communications Instructions: Radio Telegraph Procedure*, gennaio 1987, pp.1-1.
- [WJB] Waldner, Jean-Baptiste (2008). *Nanocomputers and Swarm Intelligence*. London: ISTE John Wiley & Sons. pp. 205–214. ISBN 1-84704-002-0.
- [AIDC] "AIDC 100". *AIDC 100: Professionals Who Excel in Serving the AIDC Industry*. Archived from the original on 24 July 2011. Retrieved 2 August 2011.